



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Aapo Toikkanen

W20–KIERTOKANGEN JÄYSTEEN- POISTON KEHITTÄMINEN

Tekniikka ja liikenne
2011

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone – ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Aapo Toikkanen
Opinnäytetyön nimi	W20–kiertokangen jäysteenpoiston kehittäminen
Vuosi	2011
Kieli	suomi
Sivumäärä	90 + 21 liitettä
Ohjaaja	Mika Billing

Tämä opinnäytetyö on tehty Wärtsilä Oyj Abp Vaasan toimitusyksikön kiertokankiverstaalle. Opinnäytetyön aiheena on kehittää Wärtsilän Vaasan toimitusyksikön kiertokankiverstaalla valmistettavien W20–kiertokankien jäysteenpoistoa.

Työn tarkoitus on selvittää käsin tehtävän W20–kiertokankien jäysteenpoiston automatisoinnin mahdollisuudet. Työssä selvitetään mahdollisuudet siirtää käsin tehtävä jäysteenpoistotyö kiertokankiverstaalla olevalle robottisolulle. Lisäksi työssä selvitetään nykyisen robottisolun kapasiteetti ja suoritetaan investointilaskelmat mahdollisille muutostarpeille. Opinnäytetyön tavoitteena on myös ohjelmoida jäysteenpoistoon tarvittava ohjelma Fanuc–robotilla.

Opinnäytetyön suorittaminen aloitettiin kartoittamalla kiertokangen valmistus verstaalla sekä käsin tehtävän jäysteenpoiston eri työvaiheet. Alkuseelvityksen aikana tutustuttiin myös kirjallisuuteen ja tätä kautta lisättiin tietämystä eri jäysteenpoistovaihtoehdoista. Alkuseelvityksen jälkeen tutkittiin mahdollisuuksia toteuttaa jäysteenpoisto kiertokankiverstaan robottisolussa ja suunniteltiin muutostyön tarvitsemat toimenpiteet. Tämän lisäksi opinnäytetyössä selvitettiin tarvittavat investoinnit ja niiden mukaan suoritettiin laskelma takaisinmaksuajasta.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville menetelmä W20–kiertokangen jäysteenpoiston suorittamiseksi olemassa olevassa robottisolussa sekä tarvittavat muutokset materiaaliavirassa.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone – ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Aapo Toikkanen
Title	Improvement of the Deburring System of the W20–Conrod
Year	2011
Language	Finnish
Pages	90 + 21 Appendices
Name of Supervisor	Mika Billing

This thesis was made for Conrod Workshop of Wärtsilä Finland Oyj Abp, Vaasa Factory. The purpose of this thesis was to improve the current deburring system of the W20-conrod. The purpose of thesis was also to find out possibilities to automatize the deburring work. Furthermore, the capacity of the robot cell was determined and the investment calculations for possible alterations were made. The purpose was also to program the deburring robot.

In the beginning I studied all manual deburring work for W20-conrod and also studied the related literature. After that I investigated the possibility of doing the deburring work with the robot cell in the Conrod Workshop. I also made investment calculations and defined payback time.

The result of this thesis is the updated process for deburring of the W20–conrod with a Conrod Workshop robot-cell. A schedule for needed changes was also made.

Keywords	Conrod, burr, robot
----------	---------------------

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	8
1.1	Opinnäytetyön aihe	8
1.2	Työn tavoitteet	8
2	YHTIÖ.....	9
2.1	Wärtsilä.....	9
2.1.1	Ship Power Wärtsilä	10
2.1.2	Power Plants Wärtsilä	10
2.1.3	Services Wärtsilä	11
2.2	Wärtsilä Vaasassa.....	11
2.2.1	Wärtsilän historia Vaasassa.....	11
2.2.2	Toiminnot Vaasassa	12
2.2.3	Kiertokankiverstas	12
3	KIERTOKANKI	13
3.1	Tehtävä	13
3.2	Rakenne	13
3.3	Valmistaminen	14
3.3.1	Takominen.....	14
3.3.2	Lastuaminen	15
3.3.3	Jäyste.....	16
4	AUTOMATISOINTI.....	18
4.1	Yleistä.....	18
4.2	Tuotevirtaus	18
4.3	Teollisuusrobotti	19
4.4	Robotin ohjelmointi.....	20
4.4.1	Koordinaatistot	21
4.4.2	Robotin konfiguraatiot	21
4.4.3	Eri liikekäskyjä	22
4.4.4	Singulariteetti	26
4.5	Robottitarrain	26

4.6	Robotin työkalu.....	27
4.7	Robottihankinnan kannattavuus.....	27
4.8	Turvallisuus	29
5	PROSESSIN ALKUTILANNE	33
5.1	Nykyinen W20–kiertokangen työskentelyjärjestys.....	33
5.2	Työkierron eteneminen.....	34
5.2.1	Rouhinta	35
5.2.2	Ensimmäinen jäysteenpoisto	35
5.2.3	Hienoajo	36
5.2.4	Kuulapuhallus.....	36
5.2.5	Loppujäystö	37
6	ROBOTTISOLU	38
6.1	Tarkoitus	38
6.2	Layout.....	38
6.3	Käsittelyrobotti	39
6.4	Jäysterobotti.....	40
6.5	Puskuriasema	40
6.6	Kääntöasema	41
6.7	Kuulapuhalluskone.....	41
6.8	Rullarata.....	41
7	PROSESSIN KEHITTÄMINEN	42
7.1	Tavoite.....	42
7.2	Haasteet	43
7.2.1	Kappale	43
7.2.2	Valmistus.....	44
7.2.3	Kuulapuhallus.....	46
7.2.4	Robotti.....	47
7.3	Ohjausryhmä	47
7.4	Nykyisen robottisolun kapasiteetti.....	47
7.5	Laskennallinen kapasiteetti.....	48
7.6	Kiertokangen jäysteenpoiston järjestäminen	51
7.7	Robottisolun vaiheajoja	52

7.8	Tarttuja	52
7.9	Ohjelmointi	54
7.10	Testausta	57
7.10.1	Ohjelma	57
7.10.2	Jäysteenpoisto ja työkalut	57
7.10.3	Törmäystarkastelu	61
7.10.4	Kuulapuhallus ja tulppaus	62
8	PROJEKTIN TULOKSET	65
8.1	Muutokset materiaalivirrassa	65
8.1.1	Virtaus	65
8.1.2	Uusi työkierto	66
8.1.3	Manuaalinen jäysteenpoisto	67
8.1.4	Viimeistelypaikka	67
8.2	Robottisolu	68
8.2.1	Kapasiteetti	68
8.2.2	Tarttuja	70
8.2.3	Kuljetuspaletti	71
8.2.4	Robottisolun jäysteenpoistopaikka	72
8.2.5	Konenäkö	72
8.2.6	Tulppaus	74
8.2.7	Kuulapuhallus	74
8.2.8	Jäysteenpoistotyökalut	75
8.3	Ohjelmointi	77
8.3.1	Robottisolun työkierto	77
8.3.2	Jäysteenpoisto-ohjelma	78
8.4	Investoinnit	82
9	PARANNUKSIA TULEVAISUUDESSA	84
9.1	Koneistaminen	84
9.2	Robottisolu	84
10	JOHTOPÄÄTÖKSET JA ARVIOINTI	86
10.1	Luotettavuus	86
10.2	Käyttökelpoisuus	86

10.3 Arviointia.....	86
LÄHDELUETTELO.....	88
LIITTEET.....	90

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön aihe

Opinnäytetyö tehdään Wärtsilä Oyj Abp Vaasan toimitusyksikön kiertokankiverstaalle. Opinnäytetyön aiheena on kehittää Wärtsilän Vaasan toimitusyksikön kiertokankiverstaalla valmistettavien W20–kiertokankien jäysteenpoistoa.

Jäysteenpoisto on tarkka ja kriittinen toimenpide ajateltaessa valmiin kappaleen kestävyyttä. Toisaalta se on myös työtehtävänä raskas, aikaa vievä ja paljon toistoja vaativa työsuoritus. Tuotantomäärien ja taloudellisen paineen kasvaessa kiertokankiverstaalla halutaan selvittää automatisoituja vaihtoehtoja W20–kiertokangen jäysteenpoistolle. Nykyisellään W20–kiertokangen jäysteenpoisto suoritetaan kokonaisuudessaan käsityönä.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on kehittää kiertokankiverstaalla valmistettavien W20–kiertokankien jäysteenpoistoa. Työn tavoitteena on tarkastella W20–kiertokangen nykyistä työkiertoa ja selvittää, voiko jäysteenpoistoa suorittaa kiertokankiverstaalla olevalla robottisolulla. Opinnäytetyön tavoitteena on myös suunnitella ja toteuttaa robotisoitu jäysteenpoisto menetelmä, mikäli sellainen todetaan mahdolliseksi. Työhön kuuluu myös olennaisena osana inventointilaskelmien laatiminen kolmelle eri tuotantoskenaariolle takaisinmaksuaikoihin.

W20–kiertokankien jäysteenpoistoa on suunniteltu siirrettäväksi robotille jo aiemmin, mutta tuotannon priorisointi muilta osin ja tehtävän haasteellisuus on siirtänyt suunnitelmaa eteenpäin.

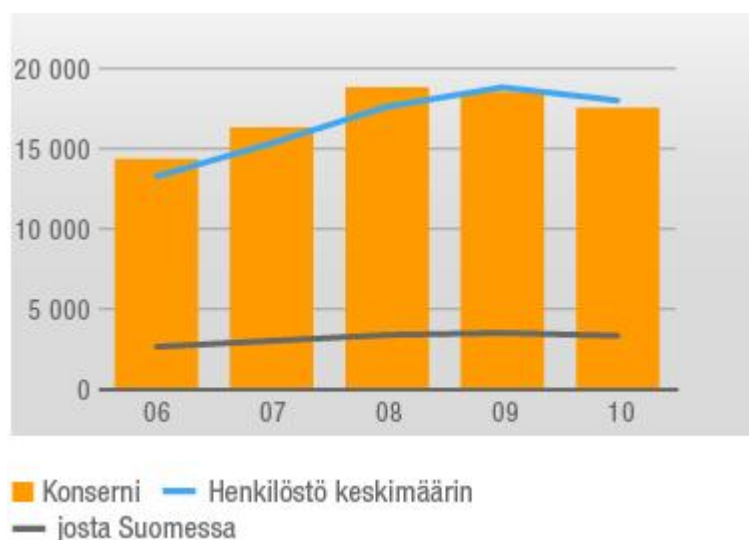
Kiertokankiverstaalla olevalla robottisolulla suoritetaan nykyisellään W32–kiertokankien jäysteenpoisto ja kuulapuhallus. Mikäli W20–kiertokankien jäysteenpoisto saadaan toteutettua robottisolussa, on jäysteenpoisto ja kuulapuhallus saatava järjestettyä siten, että nykyinen työkierto ei tästä häiriinny. Tuotannon tavoitteet kiertokankiverstaalla ovat n. ----- W20–kiertokankea ja n. ----- W32–kiertokankea.

2 YHTIÖ

2.1 Wärtsilä

Wärtsilä Oyj Abp on kansainvälisesti johtava merenkulun ja energiamarkkinoiden voimaratkaisujen toimittaja, joka tukee asiakasyrityksiä tuotteiden koko elinkaaren ajan. Wärtsilä maksimoi alusten ja voimalaitosten ympäristötehokkuuden ja taloudellisuuden keskittymällä teknologisiin innovaatioihin ja kokonaishyötysuhteeseen. Vuonna 2010 Wärtsilän liikevaihto oli 4,6 miljardia euroa ja henkilöstömäärä oli noin 17 500. Yrityksellä on 160 toimipistettä 70 maassa. Wärtsilän osakkeet on listattu NASDAQ OMX Helsingissä. /12/.

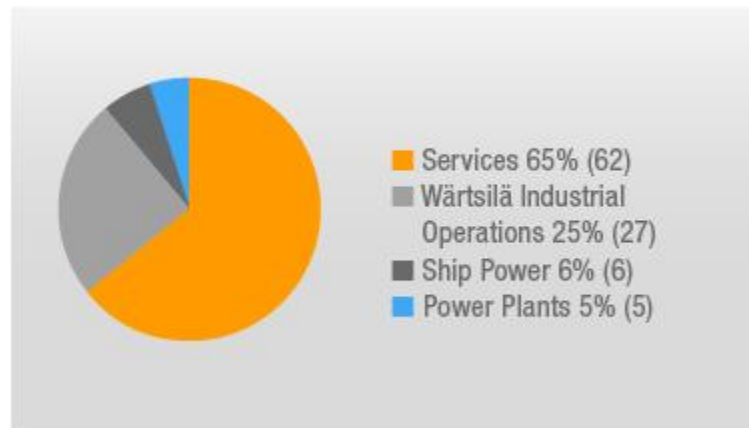
Wärtsilän henkilöstöstä 19 % oli Suomessa, 6 % Alankomaissa ja 31 % muualla Euroopassa. Henkilöstömäärä Aasiassa oli 31 %, josta 7 % Kiinassa, 6 % Intiassa, 5 % Singaporessa ja 14 % muualla Aasiassa. Alla kuva henkilöstön kehityksestä (kuva 1.). /13/.



Kuva 1. Henkilöstömäärän kehitys vuosina 2006–2010. /13/.

Wärtsilän henkilöstömäärä joulukuun 2010 lopussa oli 17 528. Ship Power-liiketoiminnassa työskenteli 969 henkilöä, Power Plants-liiketoiminnassa 835 henkilöä ja Services-liiketoiminnassa 11 150. Tuotannon ja tuotekehityksen

(Wärtsilä Industrial Operations) henkilöstömäärä oli 4 210. Kuvasta 2 ilmenee henkilöstön jakaantuminen liiketoiminnottain. /13/.



Kuva 2. Henkilöstö liiketoiminnottain vuonna 2010 (suluissa edellisen vuoden määrä). /13/.

Yhtiön liiketoiminta on jakaantunut kolmeen alueeseen, jotka ovat Ship Power, Power Plants ja Services.

2.1.1 Ship Power Wärtsilä

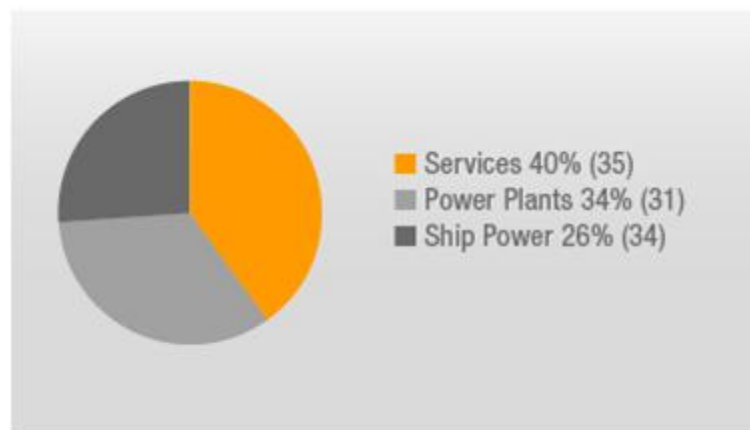
Ship Power Wärtsilä on johtava laivojen koneisto-, propulsio – ja ohjausjärjestelmien toimittaja. Wärtsilä toimittaa moottoreita ja aggregaatteja, alennusvaihteita, propulsiolaitteistoja, valvontajärjestelmiä sekä tiivisteratkaisuja kaikentyyppiin aluksiin ja offshore-sovelluksiin. /12/.

2.1.2 Power Plants Wärtsilä

Power Plants Wärtsilä on merkittävä toimittaja hajautetun energiantuotannon voimalamarkkinoilla. Ratkaisut kattavat perusvoimantuotannon, sähköverkon vakaaseen toimintaan ja kuormitushuippujen tasaamiseen tarkoitetut voimalat, teollisuuden oman energiantuotannon sekä öljy- ja kaasuteollisuuden tarpeet. /12/.

2.1.3 Services Wärtsilä

Services Wärtsilä tukee asiakasta toimitetun järjestelmän koko elinkaaren ajan tarjoamalla huolto-, ylläpito – ja kunnostuspalveluja, jotka kattavat moottoreiden huollon ja kunnossapidon lisäksi alusten ja voimalaitosten sähkö- ja automaatiojärjestelmät, voimansiirron, kattilatekniikan, käyttöpalvelut ja koulutuksen. Kuvassa 3 on esitetty liikevaihto liiketoiminnoittain. /12/.



Kuva 3. Liikevaihto vuonna 2010 liiketoiminnoittain (suluissa edellisen vuoden määrä). /12/.

2.2 Wärtsilä Vaasassa

2.2.1 Wärtsilän historia Vaasassa

Wärtsilä aloitti toimintansa Vaasassa vuonna 1936 ostamalla Onkilahden konepajan. Parikymmentä vuotta myöhemmin Wärtsilä rakensi alueelle moottoritehtaan ja aloitti dieselmoottorivalmistuksen vuonna 1955. Ensimmäiset moottorit valmistettiin Nohabin ja Sulzerin lisenssillä ja ne toimitettiin Wärtsilän telakoille. Tutkimus – ja kehitystoiminnan tuloksena vuonna 1960 syntyi ensimmäinen Wärtsilän suunnittelema 4–tahtinen moottori, Wärtsilä 14. Nykyään Vaasan toimitusyksikön moottorivalikoima käsittää Wärtsilä 20–, Wärtsilä 32 – ja Wärtsilä 34SG–tuoteperheet. Yli 90 % tuotannosta menee vientiin. /13/.

2.2.2 Toiminnot Vaasassa

Vaasan keskustassa sijaitsee Vaasan toimitusyksikkö, joka on vastuussa Ship Powerin ja Power Plantsin myymien moottoreiden toimituksista. Tähän sisältyvät avainkomponenttien koneistus sekä moottoreiden ja generaattorilaitteistojen asennus. Vaasassa sijaitsee myös 4-tahtimoottorien tutkimuksen ja tuotekehityksen pääkeskus, moottorilaboratorio tuotekehitystä varten, sekä Waskiluoto Validation Centre, jossa testataan uusia teknologioita. Vaasan Runsorissa on lisäksi Ship Power, Power Plants ja Services sekä niihin liittyvät myynti – ja projektinhallinta-toiminnot. Henkilöstömäärä Vaasassa on yhteensä 2 700. /13/.

2.2.3 Kiertokankiverstas

Kiertokankiverstas on osa Vaasan toimitusyksikön moduulitehdasta. Kiertokankiverstaan nykyiset tuotteet ovat W32 ja W20-kiertokanget. W32-kiertokankia käytetään Wärtsilä 32, Wärtsilä 34DF ja Wärtsilä 34SG-moottoreissa, W20-kiertokankia Wärtsilä 20-tuoteperheen moottoreissa (**kuva 4.**). Kiertokankia koneistetaan ja kokoonpannaan Vaasan toimitusyksikössä valmistettaviin moottoreihin ja varaosiksi huollon tarpeisiin Runsoriin. Lisäksi W20-kiertokankia lähetetään Kiinassa valmistettaviin moottoreihin. /13/.

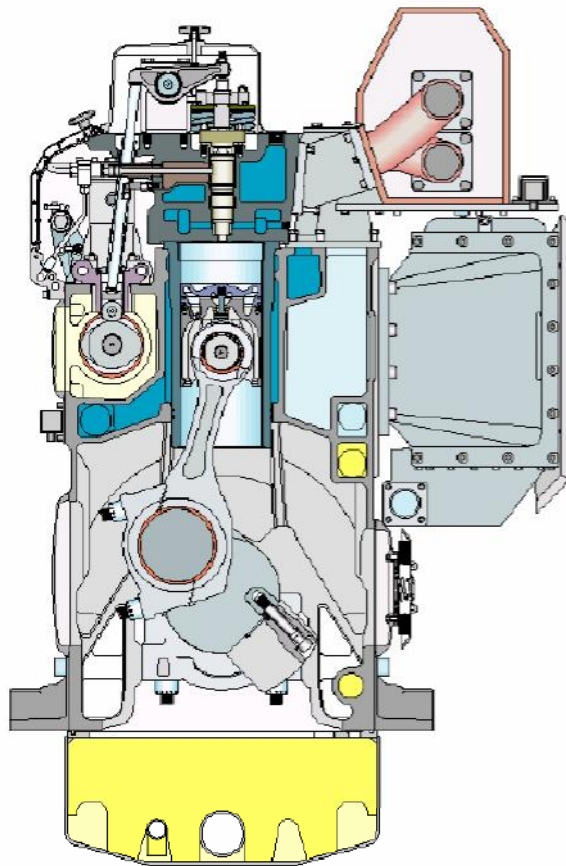


Kuva 4. Wärtsilä W20-tuoteperheen moottori. /13/.

3 KIERTOKANKI

3.1 Tehtävä

Kiertokangen tehtävä on siirtää männän liike kampiakselin kampeen ja osallistua siten toimenpiteeseen, jolla männän edestakainen liike muutetaan kampiakselin pyöriväksi liikkeeksi (**kuva 5.**). Kiertokankea rasittavat suuret puristus- ja taivutusrasitukset. Nurjahduksen estämiseksi kanki tehdään muodoltaan I-profiiliksi ja se valmistetaan useimmiten seostetusta teräksestä muottiin takomalla. /10, 73/.



Kuva 5. Eräs W20-tuoteperheen moottori. Kuvassa keskellä näkyy kiertokanki. /13/.

3.2 Rakenne

Kiertokangen yläpään muodostama laakeripesä on yleensä kiinteä silmukka, johon pronssilaakeri on kiinnitetty. Kiertokangen (**kuva 6.**) alapää on jaettu joko vinosti

tai suoraan ja kansi kiinnitetty kahdella tai neljällä ruuvilla. Vain jakopinta on valittu silloin, kun ruuvien rasitukset muuten nousisivat liian suuriksi. Suurikokoisissa dieselmootoreissa jakotasoon on jyrsitty tai hiottu hammastus. /7, 166–167/.



Kuva 6. W20-kiertokanki. /13/.

Kiertokangen alasilmukkaan asennetaan kampilaakerit. Nelitahtimootorissa kampilaakerina käytetään liukulaakereita, jotka muodostuvat kahdesta teräsrunkoisesta laakeripuolikkaasta. On tärkeää, että laakeriliuska sopii jätävästi pesäkkeeseensä, jotta se ei lähde pyörimään akselin mukana ja jotta lämpö siirtyy tehokkaasti laakerista. Laakeriliuskassa oleva ns. ohjausnasta ei siis yksin riitä pitämään liuskaa pesäkkeessä paikallaan. /10, 75/.

3.3 Valmistaminen

3.3.1 Takominen

Taonta on historiallisesti vanhimpia työmenetelmiä. Taonta jaetaan avo- ja muottitaontaan sen perusteella, annetaanko kappaleelle muoto pelkästään vasaran ja alasimen avulla vai tarvitaanko siihen yksilöllinen työväline, takomuotti. Muottitaonta tuottaa mittatarkempia tuotteita kuin avotaonta. Lisäksi kappaleet ovat ennen kaikkea keskenään samanlaisia kappaleita, joten se on sarjatuotantoon sopiva menetelmä. /5, 349–353/.

Takomuotti on kaksiosainen ja sen jakotason erottamiin puoliskoihin on voitava kaivertaa kappaleen negatiivimuoto. Jos yksi ontelo ei riitä muovaamaan aihiota

valmiiksi kappaleeksi, on valmistettava monikaiverrusmuotti, jossa lähtöaihio muovataan välimuotojen avulla lopulliseksi tuotteeksi. Alla valokuva (**kuva 7.**) takeesta, josta kiertokangen valmistus aloitetaan. /5, 349–353/.

Takomisen tavoitteena on antaa kappaleelle rajamittallinen muoto ja parantaa materiaalin sisäistä rakennetta. Kun takeita käytetään vaativiin tarkoituksiin, tarkastetaan ne tavallisesti sataprosenttisesti. Ensin puhdistetaan pinta sopivalla menetelmällä, esimerkiksi hiekkapuhalluksella ja sitten tutkitaan sekä sisäiset että pintaviat. Raju muokkaus voi aiheuttaa sisäisiä repeämiä ja pinnan tavallisin vika on ylitäontapoimu. /5, 349–353/.



Kuva 7. Takeita

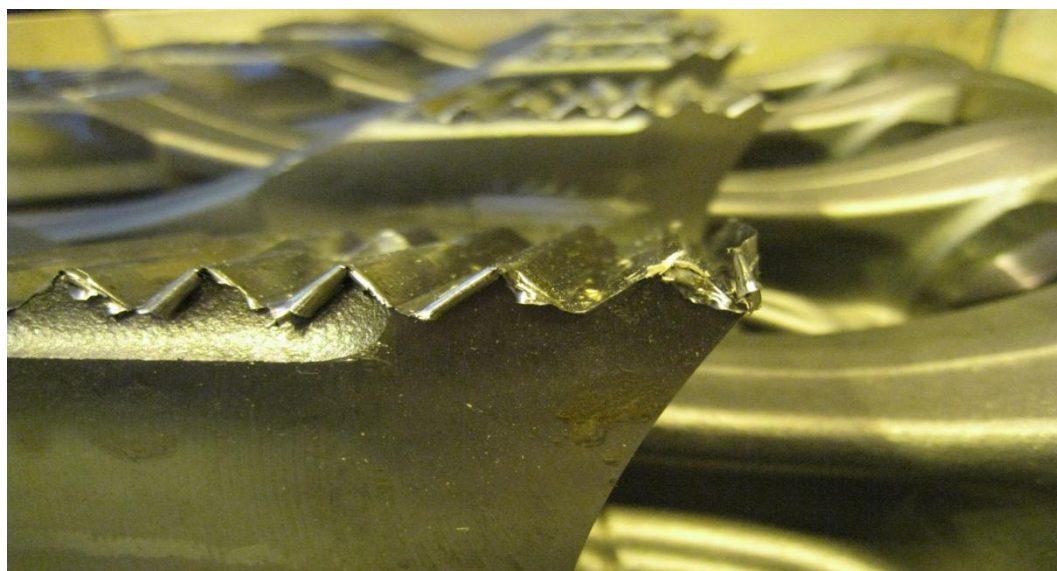
3.3.2 Lastuaminen

Lastuaminen on tärkein työstömenetelmä. Rouhintatyöstössä työkappaleesta irrotetaan suuria ainemääriä. Viimeistelytyöstössä taas tavoitteena on hyvä mittatark-

kuus ja pinnanlaatu. Lastuaminen on kallis työstömenetelmä ja sitä on yritetty korvata ja vähentää tarkempien aihionvalmistusmenetelmien avulla. Tuotesuunnittelun asettamat mittatarkkuusvaatimukset ovat säilyttäneet lastuamisen osuuden työstössä lähes ennallaan eikä lastuamisen korvaaminen valu- tai muovausmenetelmillä ole onnistunut. Lastuaminen perustuu työstettävää materiaalia huomattavasti kovemman terän tunkeutumiseen työkappaleeseen. Plastisen muodonmuutoksen seurauksena terä irrottaa kappaleesta ainetta, lastua. /5, 130/.

3.3.3 Jäyste

Koneistettaessa työkappaleiden särmiin syntyy plastisen muodonmuutoksen seurauksena erilaisia haitallisia ulkonemia, joista käytetään suomen kielessä sanaa jäyste (**kuva 8.**). Jäysteen syntyminen työkappaleeseen ei ole koskaan toivottavaa, koska se tuo mukanaan ongelmia tuotteen suorituskyvyssä, turvallisuudessa ja ulkonäössä. Jäysteenpoiston kalliit kustannukset ovat kuitenkin suurin yksittäinen pulma koneistettujen kappaleiden viimeistelyssä.



Kuva 8. Haitallisia ulkonemia koneistetussa kappaleessa, eli jäystettä.

Suuret syöttönopeudet vaikuttavat lopputulokseen jäysteen määrää lisäävästi. Koneistusmenetelmät jotka sisältävät rouhinta- ja viimeistelyvaiheen muodostavat

sen sijaan vähän jäystettä. Terävillä työkaluilla saadaan myös aikaan vähemmän viimeisteltävää, koska tällöin työkappaleeseen kohdistuu mahdollisimman vähän ylimääräistä lämpökuormitusta. Lastuavan työstön yhteydessä syntyvä lämpö ja lastuamisvoimat siis vaikuttavat suoraan jäysteen määrään lopputuotteessa. /3, 1–3/.

Jäysteenpoisto on kappaleen särmiin meistämisen tai lastuavan työstön yhteydessä syntyneiden materiaaliomuodostumien poistamista. Työvaiheena jäysteenpoistoa pidetään yleensä välttämättömänä pahana, joka on joka tapauksessa tehtävä hinnalla millä hyvänsä. Joissakin ulkomaisissa julkaisuissa sitä pidetäänkin humoristisesti 3 D–työvaiheena (dangerous, dirty and dull) eli suomennettuna työ on riskialtista, likaista ja tylsää. Usein jäysteenpoistovaihe jää valmistusta kehitettäessä varjoon muiden asioiden viedessä kaiken tarmon tuotantoa kehittävältä henkilöltä. /4, 19/. Kiertokangen varren ja silmukoiden ulkopinnat jätetään yleensä taepinnaksi, ainoastaan purseet ja viat poistetaan hiomalla /7, 168/.

4 AUTOMATISOINTI

4.1 Yleistä

Automaatiolla voidaan ymmärtää automaattista toimintaa, johon liittyy itsestään tapahtuvaa toimintaa, mikroprosessoripohjaista toimintaa, tietokoneella toteutettua toimintaa, automatisoitujen koneiden, laitteiden ja tuotantolinjojen käyttöä ja mitauksiin perustuvaa säätöä. Automaatio-termi tarkoittaa myös automaattisten koneiden, laitteiden ja tuotantolinjojen suunnittelua, toteutusta ja käyttöä /6, 7–12/. Automaatio voidaan jakaa eri osa-alueisiin. Tässä työssä tarkastellaan tuotteen valmistusta kappaletavara-automaation näkökulmasta.

Automatisoinnin välittömänä tavoitteena tuotannossa on palkkakustannusten vähentäminen ja työvoiman vapauttaminen muihin tehtäviin. Erityisesti jäysteenpoiston automatisoinnin yhteydessä voidaan puhua myös työolojen ja työssä viihtymisen kehittämisestä, koska likainen, yksitoikkoinen, yksinkertainen ja raskas työ ei ole käsityönä mielekäästä. Toisena tuottavuutta kohottavana puolena automatisoinnissa voidaan pitää mahdollisuutta miehittämättömiin työjaksoihin. Koska kilpailu on Wärtsilänkin tapauksessa maailmanlaajuista, automatisointi on tehokas keino selviytyä tulevaisuuden kasvavista tuotantopaineista ja taistella ns. Kiina-ilmiötä vastaan. /4, 40/.

4.2 Tuotevirtaus

Tuotevirtaus kuvaa valmistettavan kappaleen kulkua kiertokankiverstaalla. Tuotevirtauksen suunnittelun ohella virtauksen nopeuteen vaikuttaa olennaisesti läpäisy aika. Läpäisy aika kuluu jonkin toimintakokonaisuuden alkamisesta sen valmiiksi tulemiseen.

Lyhyt läpäisy aika on indikaattori hyvin toimivasta, joustavasta ja tehokkaasta tuotantojärjestelmästä. Tässä työssä läpäisyajalla tarkoitetaan aikaa mikä kuluu kiertokangen valmistamiseen takeesta valmiiksi kiertokangeksi.

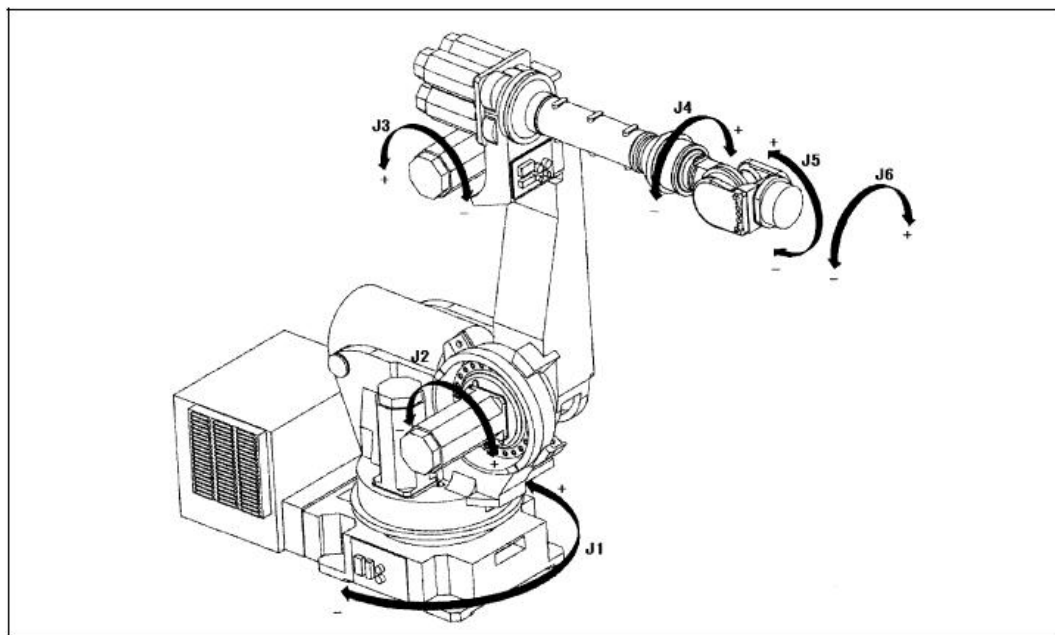
Kun kappaleet tehdään kerralla valmiiksi tai ainakin mahdollisimman vähin väli-varastoinnein, ei tuotantoon pääse syntymään epäkurantteja varastoja. Tämä pa-

rantaa valmistusluotettavuutta ja parantaa omalta osaltaan virtauksen kulkua. Tässä työssä on pyritty tutkimaan jäysteenpoiston kehittämisen lisäksi myös koko kiertokangen valmistusprosessia. /8, 53, 55/.

4.3 Teollisuusrobotti

Yhden määritelmän mukaan teollisuusrobotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen, vähintään kolminivelin mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa.

Yksinkertaistettuna teollisuusrobotti on mekaaninen kone, joka siirtää työkalun kiinnityslaippaa halutulla tavalla. /1, 13/. Teollisuusrobotit jaetaan yleensä luokkiin mekaanisen perusrakenteensa ja liikekoordinaatistonsa mukaan. Yleisin näistä on kiertävänivelinen robotti, jonka kaikki kuusi niveltä ovat kiertäviä (**kuva 9**).



Kuva 9. Robotin akselit. /2, 37/.

4.4 Robotin ohjelmointi

Robotin ohjelmoinnin tehtävänä on laatia toimintajärjestys ja logiikka robottikäsi-
varren liikkeille sovelluksessa tarvittavan työkalun liikkeiden toteuttamiseksi.
Robotin tulee myös tahdistaa käsivarren liikkeet toimivaksi muiden laitteiden
kanssa ja välittää muihin laitteisiin tarvittavia tietoja. Lisäksi robotin ohjelmoin-
nissa tulee määrittää robotin toiminta virhetilanteissa. /1, 78–81/.

Robotin ohjelmointimenetelmät voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: online-
ohjelmointiin ja offline-ohjelmointiin (**taulukko 1.**). Online-ohjelmoinnissa ro-
bottia tarvitaan ohjelmoinnissa eikä se voi tehdä samalla muuta työtä. Offline-
ohjelmoinnissa ohjelmointi tehdään ilman tuotantorobottia. /9, 95/.

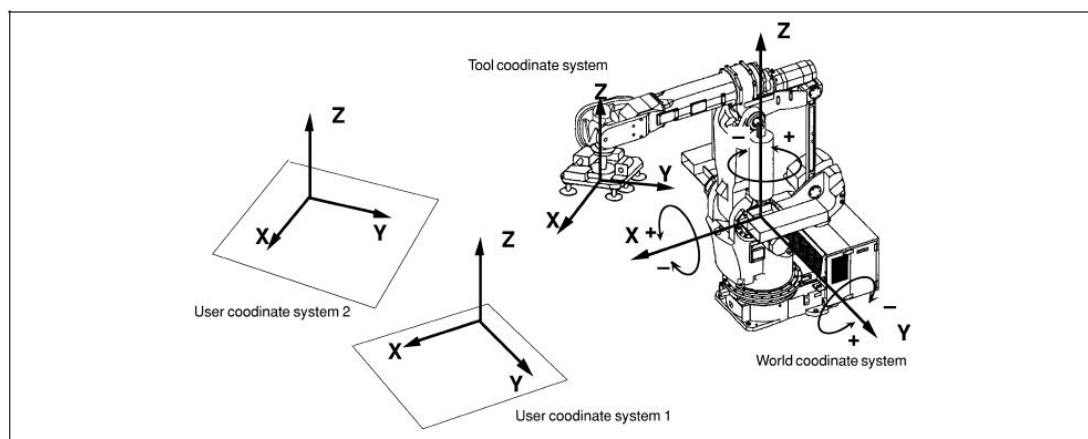
Taulukko 1. Ohjelmointimenetelmät. /9, 95/.

ONLINE	OFFLINE
Opettamalla ohjelmointi	Tekstipohjainen etäohjelmointi
Oliopohjainen ohjelmointi	Oliopohjainen ohjelmointi
Tekstipohjainen ohjelmointi	”Etäohjaimella” ohjelmointi
Näyttämällä ohjelmointi	Graafinen etäohjelmointi
Konenäköpohjainen ohjelmointi	Automaattinen etäohjelmointi

Robotteja voidaan ohjelmoida eri tavoin mm. opettamalla liikeratoja johdattamalla
tai suorittamalla etäohjelmointia hyödyntämällä 3D-malleja. Tässä insinöörityös-
sä robotin ohjelmoinnissa on keskitytty perinteiseen tapaan eli opettamalla ohjel-
mointiin. Opettamalla ohjelmoinnissa robotin työkalu viedään haluttuun paikkaan
käsiohjaimen avulla ja tallennetaan tämän jälkeen asematieto muistiin. /1, 78–81/.

4.4.1 Koordinaatistot

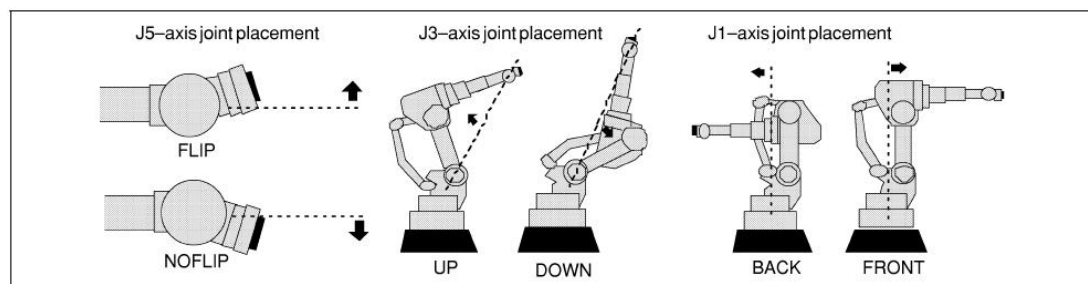
Koordinaatistojärjestelmä määrittelee robotin aseman ja asennon. Järjestelmä on määritetty joko robotille tai työskentelytilalle. Tässä insinööriyössä on käytetty nk. käyttäjän koordinaatistoa (user frame), joka on opetettu robotille. Kuvasta 10 ilmenee kuinka käyttäjän koordinaatistot voivat sijaita eri asennoissa kuin maailmankoordinaatisto. /2, 178/.



Kuva 10. Robotin koordinaatistoja. /2, 178/.

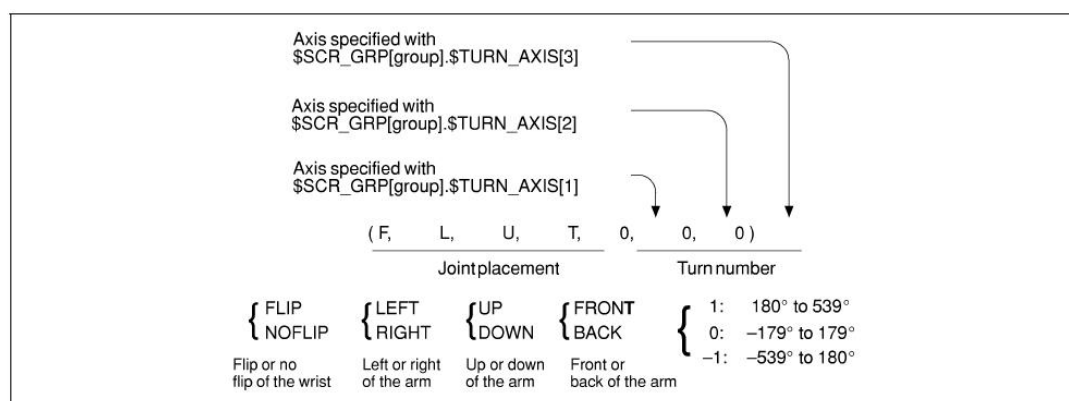
4.4.2 Robotin konfiguraatiot

Nivelen asemointi määrittelee ranteen ja käsivarren asemoinnin. Tämä määrittelee kummalla puolella ranteen ja käsivarren ohjauspiste on verrattuna ohjaustasoon (**kuva 11.**). Nivelten asemointia mietittäessä on tärkeää huomioida robottiin liitettyjen laitteiden anturoinnit ja syöttökaapelit mm. paineilmalle.



Kuva 11. Robotin nivelen asemoinnit. /2, 179/.

Robotin konfiguraatio on lukumäärältään pienin joukko parametrejä, joiden avulla robotin sijainti ja asento voidaan määrittellä yksikäsitteisesti. Kuvasta 12 selviää robotin eri akseleiden kulmat erilaisissa konfiguraatioissa. Numeeriset arvot 0, 1, ja -1 osoittavat robotin nivelen kääntymän asteluvut kyseessä olevan akselin kohdalla. Näin robotin jokaiselle nivelelle voi määrittää halutun asennon ja aseman (tietyin rajoittein) sekä työkalun orientaation opetetussa pisteessä.



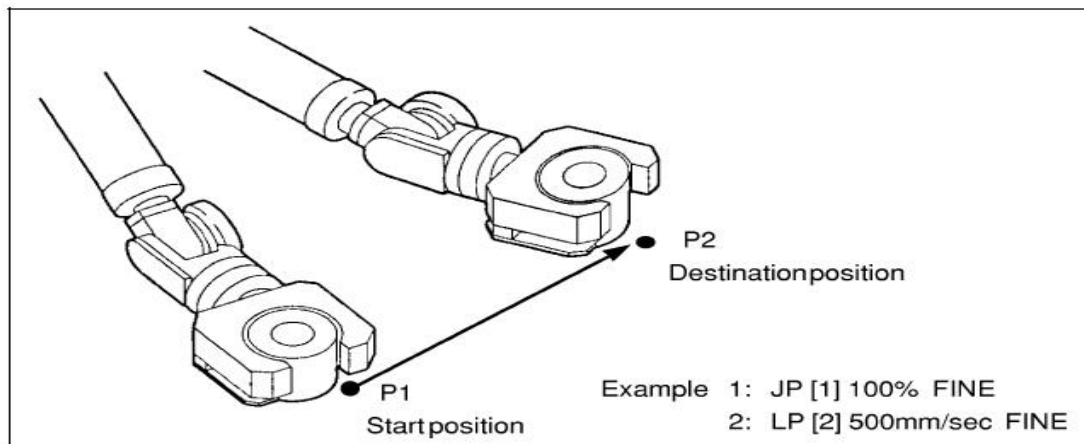
Kuva 12. Robotin konfiguraatiot. /2, 178/.

4.4.3 Eri liikekäskyjä

Liikekäskyä toteutettaessa käynnistyy robotin interpolaattori. Se laskee liikekäs-
kyn lähtöaseman ja kohdeaseman välisiä asemia ns. interpolaatiointervallin vä-
liajoin (n. 20–50 ms). Näin työkalu saadaan liikkumaan halutulla tavalla, vaikka
robotin kaikki nivelet olisivat kiertyviä.

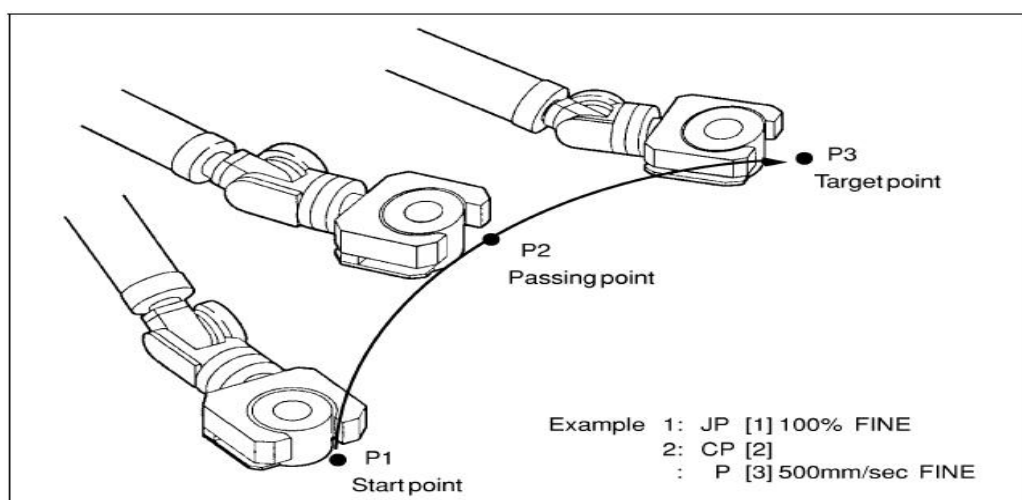
Tavallisimmat interpolaatioliiketavat ovat lineaarinen eli suoraviivainen liike ja
ympyräliike. Linearisessa interpolaatiossa työkalun origo liikkuu halutulla no-
peudella suoraan alkuasemasta loppuasemaa kohti (**kuva 13.**). Liikkeen aikana
asento muuttuu tasaisesti lähtöasennon ja loppuasennon välillä. Asento muuttuu
tasaisella kulmanopeudella erään vektorin ympäri. /1, 37/. Fanuc-roboteissa line-
aariliikekäskyyn ei ole tallennettuna robotin konfiguraatiota. Robotti voi päätyä
samaan opetettuun päätepisteeseen robotin akseleiden ollessa kiertyneinä eri ase-
massa kuin opetustilanteessa riippuen siitä mikä on robotin konfiguraatio aloitet-
taessa toteuttamaan lineaariliikekäskyä. Periaatteessa esim. robotin käsivarsi voi

olla kiertyneenä 180 astetta eri asennossa ja kuitenkin työkalu on pääte pisteessä oikeassa orientaatioissa.



Kuva 13. Robotin linear-liikekäskey. /2, 176/.

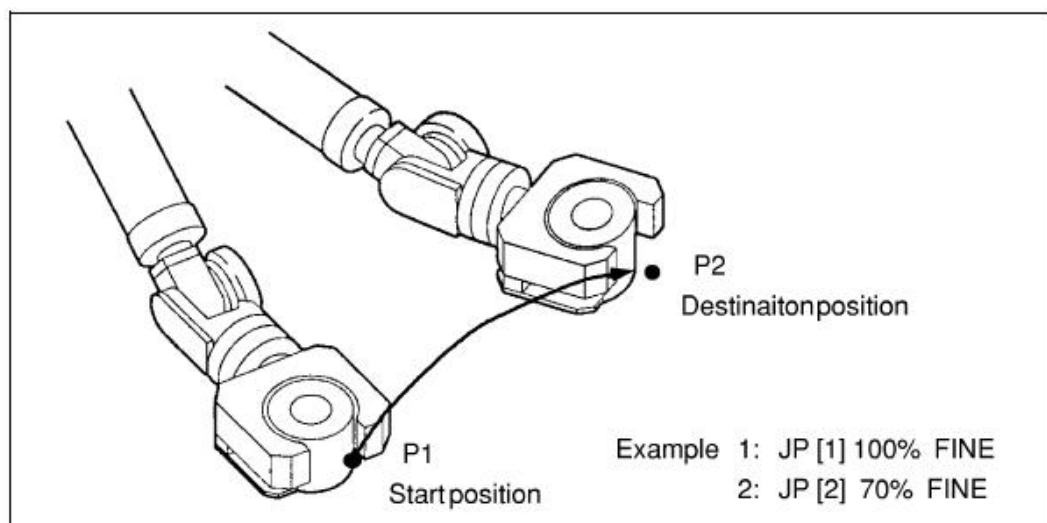
Ympyrämäinen liike (circular motion) ohjaa työkalun keskipisteen liikkeen aloitusasemasta läpimenoasemaan ja siitä pääteasemaan /2, 177/. Käytännössä Fanuc-robotin ohjauksessa ympyrämäinen liike toteutetaan opettamalla lähtöpiste ja ympyrän kaarella oleva piste. Toinen lineaariliikekäskey muutetaan circular-liikkeeksi ja tämän jälkeen tuolle samalle liikekäskeyriville opetetaan myös ympyränkaaren loppupiste (**kuva 14.**). Robotille opetetaan ympyrän puolikaari ja ympyrän piirtämiseksi tarvitsee opettaa neljä eri pistettä.



Kuva 14. Robotin circular-liikekäskey. /2, 177/.

Silloin kun robotin työkalun liikkeiden tarkkaa hallintaa ei tarvita, voidaan käyttää ns. nivelinterpolaatiota, jossa kutakin niveltä liikutetaan tasaisella nopeudella kohti sitä nivelkulmaa, joka on kohdeasemassa. Tällä interpolaatiotavalla saadaan tehtyä nopeimmat liikkeet, koska kukin nivel liikkuu vain yhteen suuntaan, toisin kuin lineaariliikkeessä. /1, 37/.

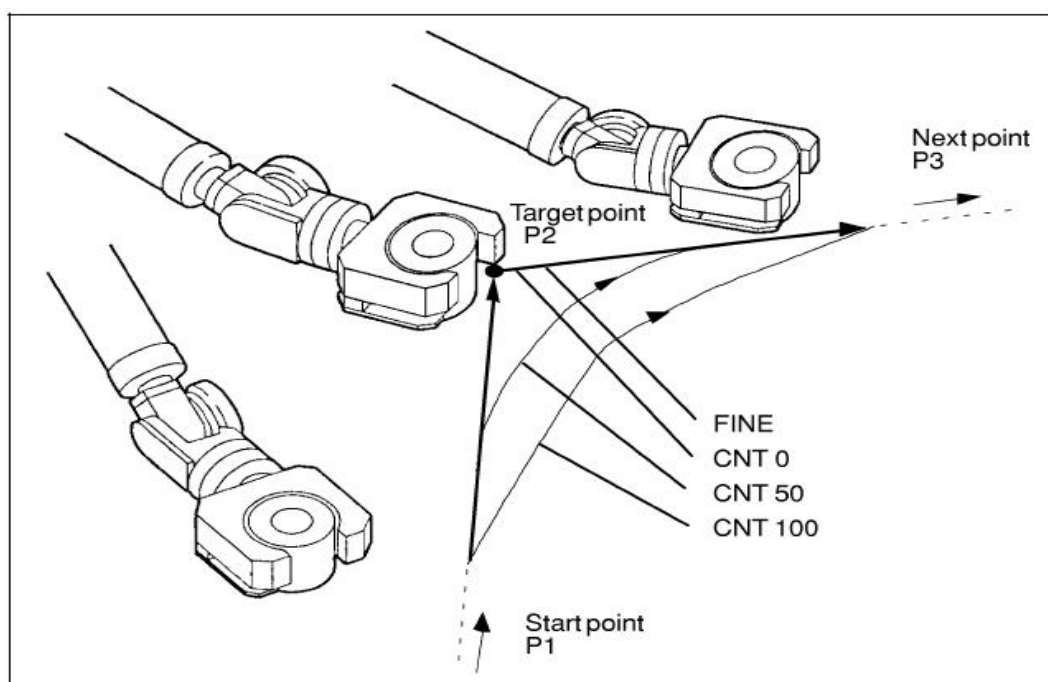
Tätä nivelinterpolaatiokäskyä kutsutaan Fanuc-roboteissa joint-liikkeeksi. Joint-liikekäskyssä robotti liikkuu itselleen taloudellisinta reittiä. Tästä syystä robotin liikekäskyn testauksen aikana on syytä olla varovainen, sillä robotti saattaa liikkua ennalta arvaamatonta liikerataa. Fanuc-roboteissa joint-liikekäskyn ollessa valittuna, robotti asettaa itsensä päätepisteessä aina samaan, opetettuun konfiguraatioon. Alla kuva joint-liikekäskyn toteutumisesta (**kuva 15.**).



Kuva 15. Robotin joint-liikekäsky. /2, 175/.

Robotin liikekäskyn suorittamisen tarkkuutta voidaan määrittää erityisellä liikekäskyllä, jossa määritetään käytetty asemointireitti. Asemointireittivaihtoehtoja on fine ja CNT kuvan 16 mukaisesti. Kun fine-aseointireitti on määritetty, robotti pysähtyy tavoiteasemaan ennen siirtymistä seuraavaan asemaan. CNT-aseointireitin ollessa määritettynä, robotti lähestyy tavoiteasemaa, mutta ei pysähdy asemaan vaan jatkaa matkaa.

Se kuinka lähelle robotin pitää lähestyä tavoiteasemaa, voidaan määrittää numero-arvoilla 0–100. Kun 0 (nolla) on valittuna, robotti liikkuu lähintä reittiä pääteasemaan asti, mutta siirtyy seuraavaan asemaan ilman pysähtymistä tavoiteasemassa. Kun määriteltynä on 100, robotti ei jarruta lähellä ”väliasemaa”, vaan siirtyy kaivimmaista reittiä kohti seuraavaa tavoiteasemaa. /2, 188/. Käytännössä esimerkiksi tasaisella nopeudella etenevää ympyräliikettä ohjelmoitaessa, CNT-arvo on asetettava riittävän suureksi, jottei robotti aiheutta pysähdy ympyräliikkeen välipisteissä.

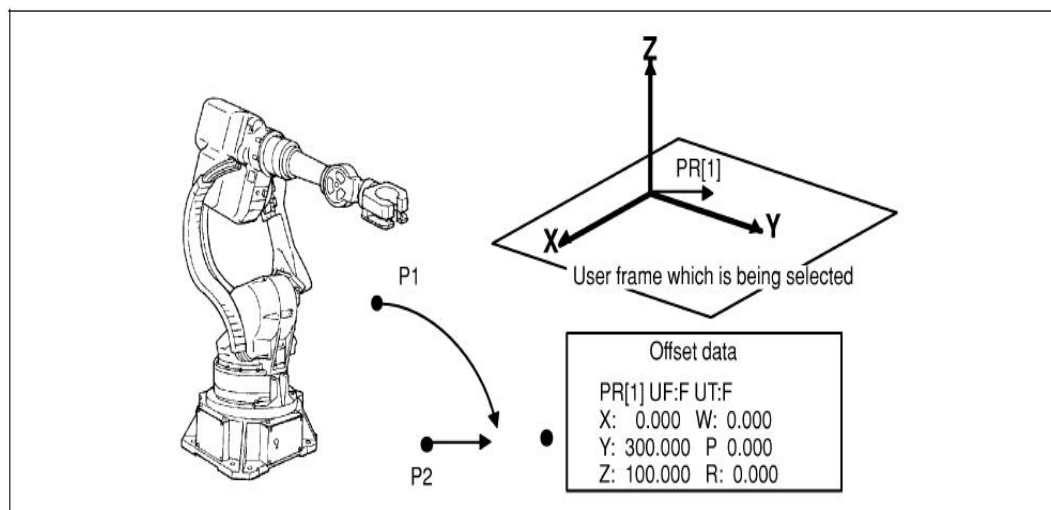


Kuva 16. Robotin liikekäsken toiminta käytettäessä CNT-toimintoa. /2, 188/.

Offset-käskey muuttaa paikoitustietoa offset-käsken määrällä. Offset-käsken arvo sijoitetaan asemarekisteritietoihin ja lisätään olemassa olevaan määränpääaseman arvoon /2, 193/. Offset-arvo on hyödyllinen muodostettaessa ohjelmaa joka sisältää parametreja joille tarvittaessa annetaan muuttuvia arvoja. Offset-käsken toteuttaminen vaatii asemarekisteritietojen käyttämistä. Nämä asemarekisteritiedot (PR) on syytä nimetä kuvaavilla nimityksillä jotta ohjelman käyttäminen on helppoa ja toisaalta ettei asemarekisteritietoja tahattomasti käytetä väärässä kohdassa. Ohjelmoitaessa asemarekisterille annetaan arvoja, jotka lisätään johonkin piste-

tai paikkarekisteritietoon. Näin saadaan luotua uusia ”pisteitä”, joita ei tarvitse kuitenkaan varsinaisesti opettaa robotille (**kuva 17.**).

1: J P[1] 100% FINE
2: L P[2] 500mm/sec FINE Offset, PR[1]



Kuva 17. Robotin offset–liikekäsky. /2, 195/.

4.4.4 Singulariteetti

Kuuden vapausasteen robottien liikkumista haittaa usein ns. singulariteettiongelma. Tämä tarkoittaa sitä, että tietyissä robotin nivelten asennoissa robotti menettää jonkin vapausasteen käyttökelpoisuuden esimerkiksi kahden nivelen kiertymisakselien sattuessa yhteneviksi. Singulariteetti johtuu rakenteellisesti seikoista eikä ohjaus–algoritmista. Ranteen akselien (nivelet 4 ja 6) joutuminen samalle suoralle on tyypillinen singulariteettitapaus.

4.5 Robottitarrain

Robotin työkalulla tarkoitetaan sitä mekaanista osaa, jota robotti siirtää asemasta toiseen. Työkaluista tavallisin on tarrain. /1, 60/. Robotin tartunta kappaleeseen on yksi järjestelmän kriittisimmistä osista. Tartunnan on oltava luotettava jokaisessa tilanteessa. Lisäksi mahdollinen tartunnan epäonnistuminen tai irtoaminen on havaittava, jotta voidaan tehdä tarvittavat korjaustoimet joko ohjelmalla tai käsin.

Tartunnan ja tarraimen suunnittelu kannattaa aloittaa käsiteltävästä tuotteesta ja siihen soveltuvasta tartuntatavasta. Tartunnan suorittamistavat voidaan karkeasti jakaa kahteen käytetyimpään ratkaisuun, alipaineimu- ja mekaaninen tartunta (yleensä puristus). Mekaanisessa tarraimessa on otettava huomioon tartuntatapa, tartuntakohta ja säädettävyys eri tuotteille. /1, 115–116/.

Tarrainta suunniteltaessa on analysoitava erilaisia vaihtoehtoja, suunnitellaanko käsiteltäviin kappaleisiin yhtenevät tartuntapinnat, jolloin tarraimen kannalta kyseessä on samanlainen kappale vai suunnitellaanko tarrain käsittelemään erilaisia kappaleita. /1, 66/.

4.6 Robotin työkalu

Työkappaleiden mitta – ja muotovaihtelut yhdistettynä robottijärjestelmän epätarkkuuksiin johtavat käsiteltävän särmän ja todellisen työstöradan välisiin sijaintipoikkeamiin. Tällainen särmän sijaintivaihtelu aiheuttaa vajaan tai liiallisen työstön, koska työkappaleen ja työkalun välinen kosketusvoima vaihtelee särmän ja työstöradan välisestä sijainnista riippuen.

Erityisesti koneistetuissa valukappaleissa esiintyvä särmien sijaintivaihtelu heikentää koko robotisoidun jäysteenpoisto prosessin luotettavuutta. Sijaintivaihtelu johtuu mm. suurista valutoleransseista sekä eri valimoiden ja valuerien välisistä huomattavista mitta – ja muoto-poikkeamista. Ongelma ilmenee nimenomaan poistettaessa jäystettä valetun ja koneistetun pinnan rajalta.

Usein työkappaleen mitta – ja muotovaihteluihin ei voida vaikuttaa luotettavasti, joten ratkaisun on löydettävä robotin ja sen varustuksen puolelta. Robotin työkalut ovatkin nykyisin joka suuntaan joustavia. Jousto on parasta toteuttaa paineilmasylintereillä, jolloin työstövoima on säädettävissä ja säilyy vakiona koko joustomatkalla. /4, 85/.

4.7 Robottihankinnan kannattavuus

Teknisten määrittelyjen tueksi robotisointihankkeesta on tehtävä tarkat investointilaskelmat. Robotisoinnin kannattavuus selvitetään samoilla kriteereillä kuin

muiden resursseista kilpailevien investointien kannattavuus. Kustannukset jakaantuvat investointi – ja käyttökustannuksiin. /1, 109–110/.

Robottijärjestelmän investointikustannuksia:

- suunnittelukustannukset
- järjestelmän hankintakustannus
- asennus – ja käyttöönottokustannukset
- työvälineiden ja oheislaitteiden hankintakustannukset
- muut kustannukset.

Robottijärjestelmän käyttökustannuksia:

- välittömät palkkakustannukset
- välilliset palkkakustannukset
- energia, aine – ja tarvikekustannukset
- koulutuskustannukset
- huolto – ja kunnossapitokustannukset.

Robottijärjestelmän tuomia säästöjä:

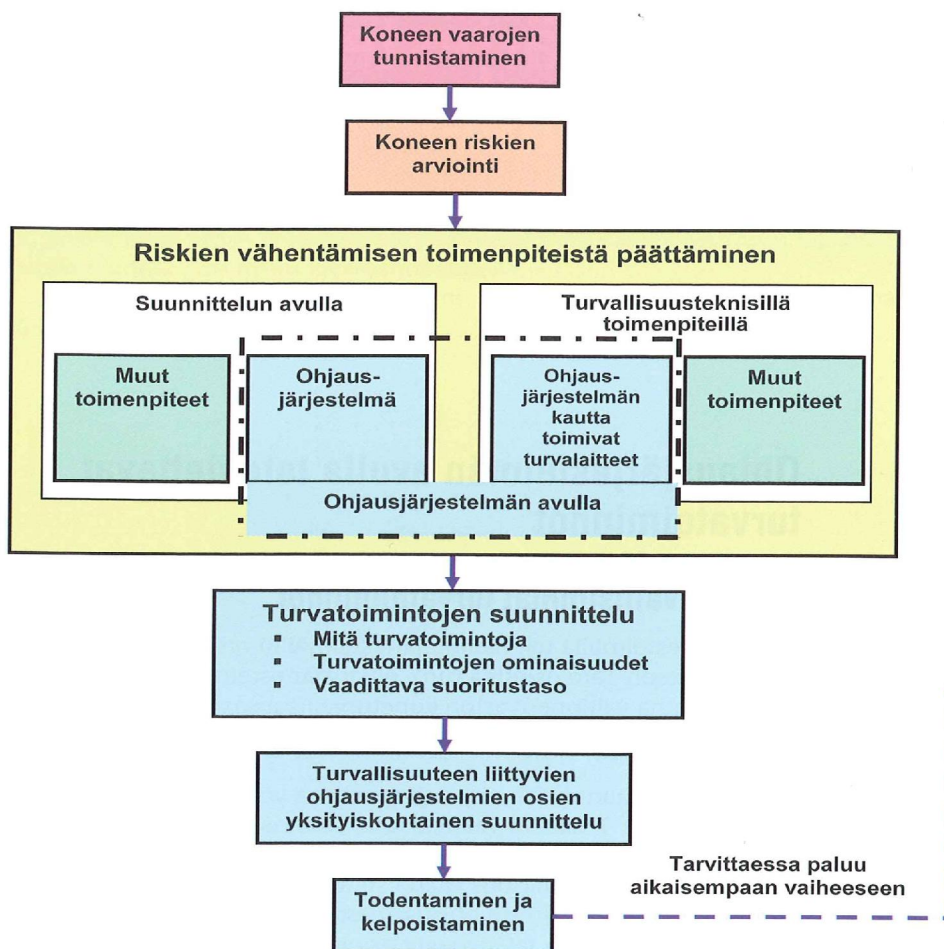
- materiaalikustannukset pienenevät
- materiaalien käsittelykustannukset pienenevät
- palkkakustannukset pienenevät
- keskeneräinen tuotanto vähenee
- vältetään virheelliset kappaleet ja niiden korjaaminen
- laitteistojen käyttöaste paranee
- tilan tarve vähenee
- valmisvarasto pienenee /1, 110/.

Usein kiinnitetään paljon huomiota robotin liikkeitä toteuttavaan käsivarteen. Ohjausjärjestelmä ohjelmistoinen vastaa kuitenkin selvästi käsivartta suurempaan

työpanosta ja on yleensä teknisesti vaikeampi toteuttaa. Teollisuusrobottiyksikössä ohjausjärjestelmä on myös käsivartta kalliimpi. /1, 15/.

4.8 Turvallisuus

Automaatioratkaisut on luotava ihmisten ehdoilla: ellei jotakin järjestelmää pystytä käyttämään, se on hyödytön. Toinen lähtökohta automaation suunnittelussa on, että automaattiset tuotantoprosessit eivät aiheuta vaaraa ihmiselle. /6, 9/. Kuvasta 18 selviää turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien osien suunnittelun yleinen malli.



Kuva 18. Turvallisen ohjausjärjestelmän yleinen malli. /11, 190/.

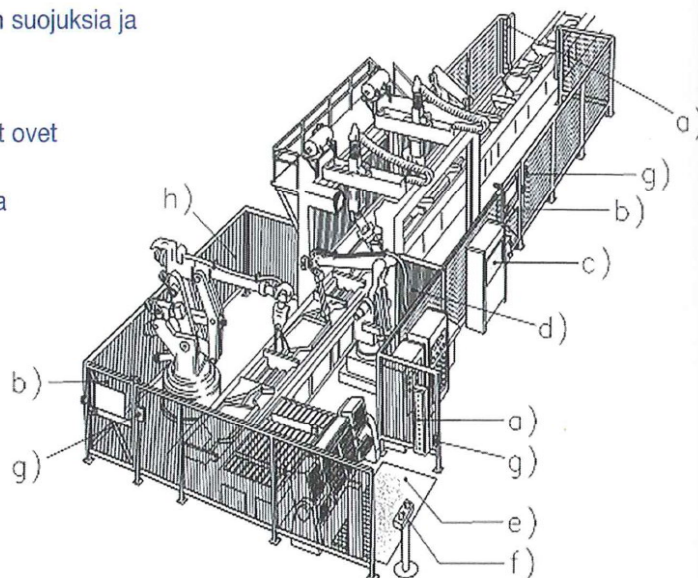
Automaatioratkaisut kuuluvat koneiden turvallisuutta säätelevän konedirektiivin alaisuuteen. Koneiden turvallisuutta sääteleviä direktiivejä ja standardeja on lu-

kematon määrä ja niiden seuraaminen on hyvin työlästä. Kiertokankiverstaalla oleva robottisolu on otettu käyttöön jo ennen tämän insinööriyön aloittamista. Tässä insinööriyössä ei ole tarkoitus varsinaisesti selvittää tai tutkia robottisolun turvallisuutta, mutta sekä työ-, että koneturvallisuus on otettu työtä tehdessä huomioon. Opinnäytteen aikana kiertokankiverstaan robottisolussa ei havaittu puutteita turvalaitteissa, eikä turvallisuusratkaisuissa.

Erityisesti automaattisissa koneissa koneen vaaraa aiheuttavat liikkuvat osat ovat tuotantokäytön aikana useimmiten kokonaan aitojen tai koteloiden suojassa (**kuva 19**). Avattavien suojusten tai muiden aukkojen kautta vaaravyöhykkeelle pääsyä valvotaan lisäksi turvalaitteilla. Osa koneista on sellaisia, että vaaravyöhykkeelle on tarvetta mennä vain kun kone on kokonaan pysähtynyt. Toisissa koneissa on taas varauduttava siihen, että joissakin häiriö-, ohjelmointi, tai muissa erikoistilanteissa saattaa olla tarpeellista, että työntekijä on aitauksilla ja turvalaitteilla eristetyn alueen sisäpuolella vaikka koneet ovat käynnissä tai käynnistymisvalmiina. /11, 183–185/.

Kuva 4.23. Kokoonpanolinjan suojuksia ja turvalaitteita.

- a) Valoverhot
- b) Linjan toimintaan kytketyt ovet
- c) Ohjauskeskus
- d) Vyöhykkeiden välinen aita
- e) Tuntomatto
- f) Kaksinkäsinhallintalaite
- g) Kuittauspainikkeet
- h) Ympäröivä aita



Kuva 19. Kokoonpanolinjan suojuksia ja turvalaitteita. /11, 234/.

Robottisolu on tyypillinen esimerkki tarpeesta työskennellä koneen käynnissä olon aikana alueella, joka varsinaisen tuotannon aikana on kokonaan aidoilla ja turvalaitteilla eristetty. Robotin ohjelmointi tehdään usein käsiohjelmointilaitteella opettamalla. Samoin opetetaan myös tarttujien liikkeet ja muut toiminnot. Opetustyö joudutaan tarkkuusvaatimusten vuoksi tekemään usein hyvin lähellä robottia **(kuva 20.)**.

Käsiohjausta tarvitaan myös mahdollisissa häiriötilanteissa. Robotin hitailla liikkeillä (alle 250 mm/s), pakkokäyttöisillä hallintaelimillä ja sallintakytkimellä pyritään pitämään huoli siitä, että tämäkin työvaihe voidaan tehdä edes siedettävän turvallisesti. /11, 183–185/.



Kuva 20. Robotin ohjelmoimista käsiajolla.

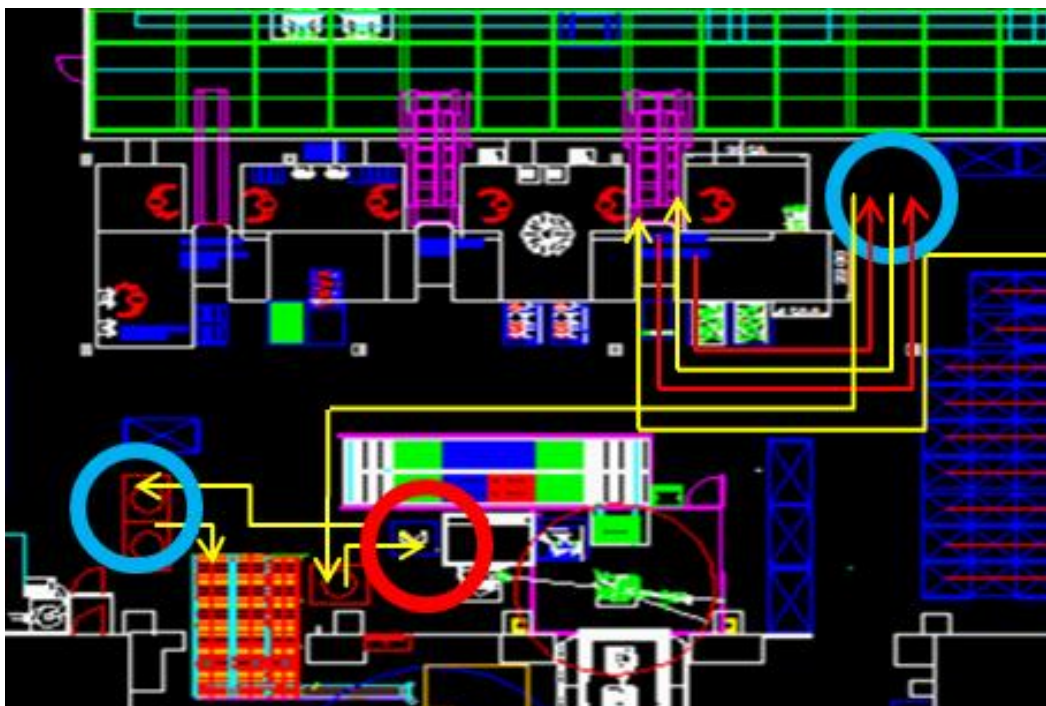
Kun robotti on valintakytkimellä siirretty automaattikäytöltä ohjelmointikäytölle, sen toiminta-alueelle voidaan mennä ilman, että alueen oven rajakytkin tai jossa-

kin aukossa olevat valokennot aiheuttavat robotin ja robottisolun laitteiden pysähtymisen. Silloin robotin ja solussa olevien oheislaitteiden liikkeet ovat mahdollisia vain käsiohjelmointilaitteen pakkoikäyttöisistä painikkeista tai vivuista ohjaamalla. Lisäksi käsiohjauslaitteessa on oltava ohjelmistosta riippumaton sallintakytkin, jolla pyritään varmistamaan, että ohjelmistossa olevat virheet eivät aiheuta vaaraa. /11, 183–185/.

5 PROSESSIN ALKUTILANNE

5.1 Nykyinen W20–kiertokangen työskentelyjärjestys

Nykyisellään kiertokangen työstämisjärjestys on suunniteltu osittain kappaleen kiertokulun mukaan sopivaksi, osittain taas työpisteiden sijainnin ja niissä olevien työkalujen mm. varren ja kansiosan kiinnivedossa tarvittavan hydraulikiinnittimen mukaan. W20–kiertokangen eteneminen vaiheesta toiseen ei ole kaikilta osin optimaalinen. W20–kiertokankia joudutaan siirtämään edestakaisin ja odotuttamaan lattialla seuraavia työvaiheita. Osa näistä odotusajoista on kiertokankien työstämisjärjestykseen liittyviä toiminnallisia syitä ja osa taas henkilöstöresursseista johtuvia syitä. Kuvassa 21 on esitetty W20–kiertokangen nykyinen etenemisjärjestys kiertokankiverstaalla. Kuten kuvasta ilmenee, kiertokankea liikutellaan edestakaisin kiertokankiverstaan tiloissa. Kuvassa keltaisella on kuvattu kangen siirtyminen eteenpäin ja punaisella kangen siirtyminen takaisinpäin. Kuvassa on ympyröity sinisellä nykyiset jäysteenpoisto pisteet ja punaisella kuulapuhallusaseman latauspiste.



Kuva 21. W20–kiertokangen eteneminen kiertokankiverstaalla.

W20-kiertokangen jäysteenpoisto on henkilöstön mukaan ”pullonkaula” kappaleen valmistuksessa. Jäysteenpoisto vaikuttaa myös olevan tehtävä, josta helposti karsitaan henkilöstöä resurssipulan aikana. Työtehtävänäkään jäyistäminen ei ole henkilöstölle mieluinen. Nämä seikat ovat omiaan aiheuttamaan lisäpainetta jäysteenpoiston uudelleen järjestelyyn.

Tehtävänä jäysteenpoisto on helposti opittavissa, mutta myös kriittinen ja tarkka työvaihe kiertokangen valmistuksessa.

5.2 Työkierron eteneminen

1. kiertokanki rouhittuna ensimmäiseen jäysteenpoistoon kahdessa osassa
 - 1.1. kansi
 - 1.1.1. kansiosan ulkopintojen jäysteenpoisto hiomarullalla
 - 1.1.2. öljykanavan reikien pyöritykset (R 2) pallopäällä ja hiomapaperilla, yhteensä 2 pyöritystä
 - 1.1.3. hammasjäysteen poisto koneviilalla
 - 1.2. varsi
 - 1.2.1. kiertokangen pultinreiän pohja hiotaan kahdella erimuotoisella kivellä ja lopuksi hiomapaperilla (P 120)
 - 1.2.2. hammastuksessa olevan karkean jäysteen poisto hiomarullalla tai tarvittaessa jopa puukolla
 - 1.2.3. molempien poskien ja silmukan ulkopintojen jäysteenpoisto hiomarullalla
 - 1.2.4. varsiosan öljykanavan reikien pyöritykset (R 2) pallopäällä, yhteensä 4 pyöritystä. Tämän jälkeen hienokäsittely hiomapaperilla, yhteensä 4 pyöritystä, pitkä versio (P 120)
 - 1.2.5. varren siirtäminen penkkiin, missä varsinainen hammasjäystö koneviilalla kahdesta suunnasta
2. kiertokanki kiinni penkissä, missä kansiosa liitetään varteen hienoajoa varten (550 bar)
3. hienoajo kuutiolla, josta aina 4 kpl valmiina kerrallaan
4. pulttien avaus ensimmäisen vaiheen jäysteenpoistopaikalla (yleensä 4–8 kpl sarjoissa)

5. siirto kuulapuhallukseen ja sen valmistelu (varren ja kannen kiinnittäminen yhteen, öljykanavan reikien tulppaus, kiinnittäminen puhalluspalettiin)
6. kuulapuhallus manuaaliovesta 4 kpl kerrallaan
7. poisto puhalluspaletista, varren ja kannen irrottaminen toisistaan, silmämääräinen tarkistus, kuulien poisto paineilmalla ja siirto paletille
8. puhalluksen jälkeinen jäysteenpoisto sisäpuolisille pinnoille koneviilalla (laakeripinnan tasot, öljyura, lukkoura) ja tarkistetaan lenkin paksuus ”tulkilla” (tarvittaessa hionta tai koneistus). Varmistetaan leikkauskohdan paikka asettamalla hammastukset symmetrisesti
9. siirto laatikoihin rullaradalle säröntarkastukseen.

5.2.1 Rouhinta

Kiertokangen valmistus verstaalla aloitetaan rouhinnalla. Kiertokankien aihiot toimitetaan kiertokankiverstaalle taottuina kappaleina, takeina. Takeet tilataan kahdelta toimittajalta ja toimittajasta riippuen takeissa on mittaheittoja, joten jokainen tae on oma yksilönsä. Takeet siirretään vastaanoton jälkeen rouhintaan kuutiolle. Rouhintavaiheessa kiertokanki katkaistaan ja katkaisukohtaan koneistetaan hammastus.

Rouhinnan jälkeen kiertokanki irrotetaan kuutiosta ja se jää odottamaan ensimmäistä jäysteenpoistovaihetta. Mikäli jäysteenpoistossa ei ole juuri silloin riittävästi henkilöstöä, rouhittu kiertokanki siirretään hyllyyn odottamaan jäysteenpoistoa. Tämän seurauksena yksittäisen kappaleen läpimenoaika verstaalla kasvaa ja samalla keskeneräisten kiertokankien säilyttämiseen käytetään turhaa tilaa.

5.2.2 Ensimmäinen jäysteenpoisto

Rouhinnan jälkeen W20-kiertokangelle suoritetaan ensimmäinen jäysteenpoisto. Ensimmäinen jäysteenpoisto pitää sisällään käsin tehtävän varsiosan ja kannen hammasjäystön, ulkopintojen jäystön, kiinnityspultinreiän pohjan hionnan ja öljykanavan pyöristysten teot. Jäysteenpoistotyöhön on käytössä erilaisia työkaluja (**kuva 22.**). Näiden vaiheiden jälkeen kansi ja varsiosa vedetään kiinni toisiinsa hienoaion suorittamista varten.



Kuva 22. Nykyisin käytössä olevia jäysteenpoistotyökaluja.

5.2.3 Hienoajo

W20-kiertokangen hienoajo suoritetaan kannen ja varsiosan ollessa kiinnivedettynä toisiinsa. Kiinniveto suoritetaan venyttämällä kiinnivetopultti (vaarna) hydraulisesti määrätyllä voimalla ja kiristämällä tämän jälkeen pultti kiinni. Kiinnivedon jälkeen kiertokanki kiinnitetään käsin kuutioon, jossa hienoajo toteutetaan. Hienoajossa laakeripinnat saavat lopullisen mittansa ja voitelua varten laakeripinnoille koneistetaan öljyura. Hienoajon jälkeen kiertokanki avataan ja siirretään manuaalisesti kuulapuhallukseen.

5.2.4 Kuulapuhallus

Kiertokangen laakeripinnat eli silmukoiden sisäpinnat kuulapuhalletaan halutun pinnankarheuden aikaansaamiseksi. Kuulapuhallus edellyttää öljykanavien tulp-

paamista ja kiertokankien asettelua puhalluspalettiin. Kuulapuhallusvaiheen läpimenoaika on nykyisellään -- minuuttia / -- kpl W20-kiertokankea. Kuulapuhalluksen jälkeen kansi ja varsi irrotetaan toisistaan, puhalletaan paineilmalla puhtaaksi kuulista ja siirretään loppujäystöön.

5.2.5 Loppujäystö

Loppujäystyössä poistetaan laakeripinnoille syntynyt jäyste, tarkistetaan leikkauskohdan oikeellisuus ja lenkin paksuus tulkilla. Loppujäystyöstä kansi ja varsiosa siirretään rullaradalle särötarkastelua varten.

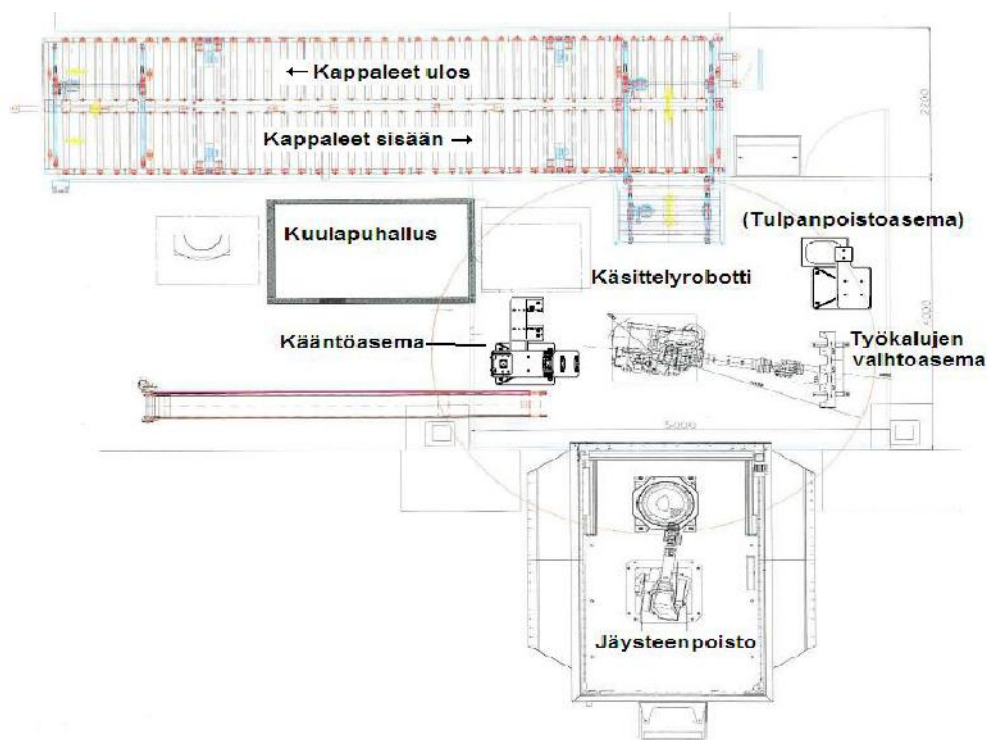
6 ROBOTTISOLU

6.1 Tarkoitus

Kiertokankiverstaan robottisolu on otettu käyttöön helmikuussa 2008 korvaamaan käsin tehtävät jäysteenpoistot ja puoliautomaattisesti tehdyt kuulapuhallukset W32-kiertokankien osalta. Robottisolu on osa välisolua, joka sijoittuu koneistuksen ja osakokoonpanon väliin. Robottisoluun investoimisen tarkoituksena oli päästä eroon käsin tehtävistä jälkitöistä ja toteuttaa jäysteenpoisto robottisolussa. Tässä on onnistuttu ja robottisolussa suoritetaan W32-kiertokankien automaattinen jäysteenpoisto ja kuulapuhallus.

6.2 Layout

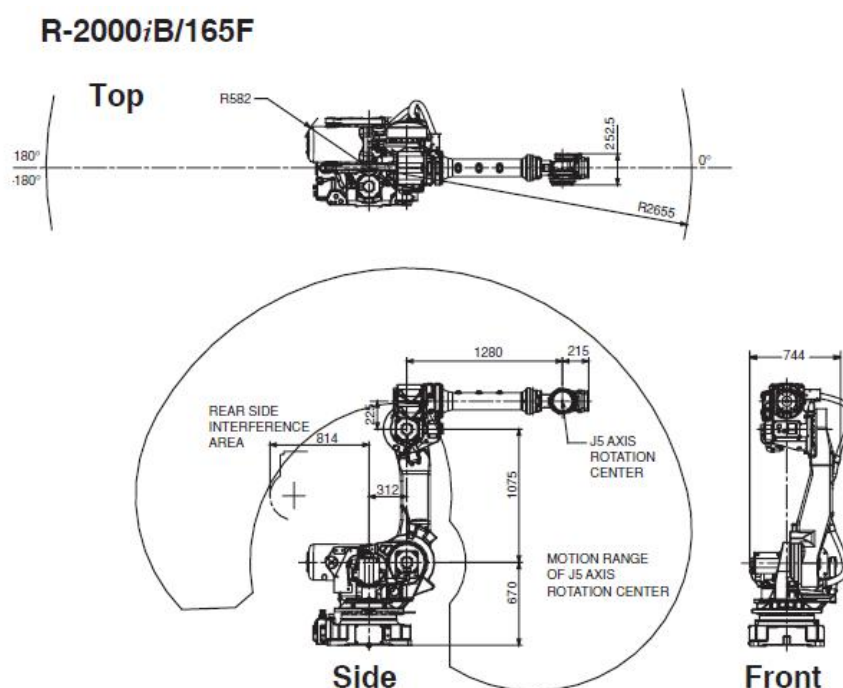
Robottisolu koostuu kahdesta kuusiakselisesta nivelfarsirobotista, kuulapuhalluskoneesta ja kappaleita kuljettavasta rullaradasta (**kuva 23.**). Molemmilla roboteilla on erillinen hylly työkaluja ja tarttujia varten. Käsittelyrobotilla on myös kääntöasema, jossa tarttujan otetta kappaleeseen voidaan vaihtaa.



Kuva 23. Layout-kuva robottisolusta.

6.3 Käsittelyrobotti

Käsittelyrobottina toimii kuusiakselinen Fanuc R-2000iB/165F – nivelvarsirobotti (**kuva 24.**) ja robotin ohjaimena Fanuc R-J3iC. Käsittelyrobotti siirtää kappaleita paletin, jäysterobotin ja kuulapuhalluskoneen välillä. Robotilla on käytössään kaksi tarttujaa, joista toista käytetään W32-kiertokangen alaosien käsittelyyn ja toista W32-kiertokangen varsille.



Kuva 24. Kuva käsittelyrobotista. /14/.

Molemmissa tarttujissa on lisäksi paineilmapilli, jolla puhdistetaan kappaleita ja palettia silloin kun käsittelyrobotti odottaa muiden vaiheiden valmistumista. Käsittelyrobotilla on myös käytössään kaksi anturia, joilla tunnistetaan kappaleiden asento paletissa. Alaosien asentoa tutkiva anturi on kiinni tarttujassa ja varsien anturi sijaitsee vanhassa tulpanpoistoasemassa.

6.4 Jäysterobotti

Jäysterobottina solussa on kuusiakselinen Fanuc M-710iC 50 – nivelvarsirobotti ja myös sen ohjaimena Fanuc R-J3iC. Jäysterobotti (**kuva 25.**) huolehtii nimensä mukaan vain jäysteen poistosta, eikä se siirtele kappaleita. Robotin jäystepöytä on pyörivä ja sen ympärillä on pölyä ja roskaa keräävä ”kaulus”. Jäysterobotilla on käytössään neljä eri työkalua.



Kuva 25. Jäysteenpoistorobotti.

6.5 Puskuriasema

Robottisolussa on käytössä puskuriasema, jossa on paikka yhdelle W32–varsiosalle ja yhdelle parille W32–alaosia. Puskuriasema on lisätty soluun yhdenmukaistamaan kappaleille tehtäviä työkiertoja ja näin solun käsittelykapasiteettia on saatu lisättyä.

6.6 Kääntöasema

Robottisolussa on kääntöasema, jota käytetään W32–varsiosien otteenvaihtoon. Kääntöasemassa saadaan ote molemmilta puolilta varsiosaa, jolloin varsi voidaan viedä eri asennoissa haluttuihin paikkoihin. Kuvattu otteenvaihto on pakollinen W32–varren jäysteenpoistossa, jotta varsi voidaan jäystää molemmin puolin.

6.7 Kuulapuhalluskone

Kuulapuhalluskoneena toimii Blastjet Oy:n toimesta tarkoitukseen räätälöimä paketti. Kone toimii robottisolussa automaattisesti, mutta sitä voidaan käyttää myös käsiäjolla tarvittaessa. Koneessa on ovi molemmilla puolilla, joista toista käytetään automaattisesti ja toista manuaalisesti. Koneessa on neljä puhallussuutinta, joista voidaan ohjata kahta yhtäaikaaisesti.

Kuulapuhallus on nykyisellään modifioitu sopivaksi neljälle kiertokangelle kerrallaan. Kiertokanget asetellaan nykyisellään manuaalisesti puhalluspalettiin ja tämän jälkeen puhalluspaletti syötetään kuulapuhalluslaitteeseen.

6.8 Rullarata

Rullarata on kaksiosainen ja sitä käytetään toisella radalla kappaleiden kuljettamiseen robottisoluun, ja toisella sieltä pois. Rullarata toimii myös puskurina, sillä siihen voidaan laittaa kuljetuspaletteja jonoon odottamaan soluun pääsyä. Kummallekin radalle mahtuu 5 palettia. Rata toimii automaattisesti ja sitä voidaan ajaa tarvittaessa myös käsiäjolla. Palettien tunnistussirujen ansiosta paletteja voidaan lastata radalle mielivaltaisessa järjestyksessä.

7 PROSESSIN KEHITTÄMINEN

7.1 Tavoite

Jäysteenpoisto, esimerkiksi robotin avulla, ei ole jäysteenpoistomenetelmä, vaan keino automatisoida tämä työvaihe. On aina erikseen mietittävä miten jäyste kappaleesta poistetaan ja tapahtuuko se käsin vai automaattisesti. Myös erilaiset automatisoinnin tasot on hyvä huomioida, koska aina ei ole tarkoituksenmukaista panostaa täysin automaattiseen linjaan. /4, 40/.

W20-kiertokangen jäysteenpoiston kehitystyö on saanut alkunsa selkeästä tarpeesta siirtää yksitoikkoinen ja toistoja vaativa työ robotille. W20-kiertokangen jäysteenpoiston kehittäminen ei koske yksinomaan jäysteenpoistotehtävää, vaan ulottuu kokonaisvaltaisemmin koko kiertokankiverstaan tehtäväkenttään. Jäysteenpoiston kehittäminen vaatii työkierron uudelleen organisoimista ja joiltakin osin myös layout-muutoksia. Jotta jäysteenpoistomenetelmä kehittyy, on myös siihen liittyviä työtehtäviä mietittävä uudessa valossa.

Jäysteenpoisto on siis erittäin tärkeä osa kiertokangen valmistusprosessia. Jäysteenpoisto varmistaa kiertokangen maksimaalisen rasituksenkestävyyden, estää murtumien ja säröjen syntymistä. Jäysteenpoisto on myös työturvallisuuteen vaikuttava työvaihe. Kun kappaleessa ei ole teräviä särmiä, sitä on helpompi ja turvallisempi käsitellä. Jäystetty valmis tuote on myös miellyttävämpi silmälle ja viimeistelty visuaalinen ilme lisää luottamusta valmistusprosessin laadukkuuteen.

Työkierron suunnittelun lähtökohtana on toimiva kokonaisuus. Ajatuksena on kappaleen siirtyminen loogisesti ja joustavasti työvaiheesta toiseen. Tavoitteena on lyhentää tuotteen läpimenoaikaa ja saada epämiellyttävimmät työtehtävät suoritettavaksi robotilla. Huomioitavaa on kuinka robotti kykenee ajallisesti käsittelemään myös W20-kiertokanget. Lähtökohtana on, että robottisolun käyttöaste on nykyisellään 49,5 %.

7.2 Haasteet

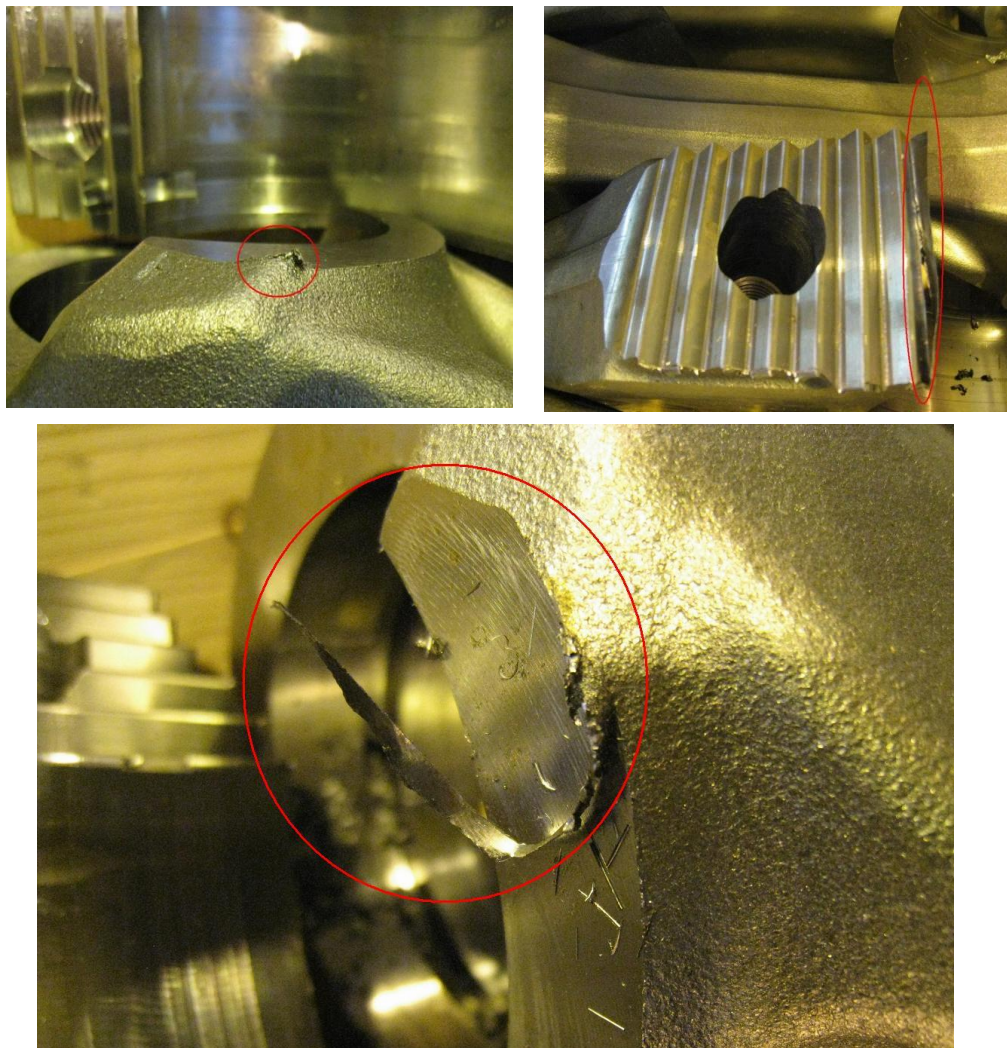
W20-kiertokangen jäysteenpoistoa on suunniteltu siirrettäväksi robotille jo aiemmin. Kappaleen valmistuksessa ja käsittelyssä on kuitenkin ilmennyt haasteita joiden vuoksi kiertokanki on päätetty edelleen jäystää käsityönä. Nyt esteeksi muodostuneet haasteet on päätetty voittaa. Seuraavassa on kuvattu esiin nousseita ongelmakohtia.

7.2.1 Kappale

Kiertokankiverstaalla on käytössä kahden toimittajan periaate. Periaatteella on tavoitteena varmistaa tuotteen saatavuus, kilpailukykyinen hinta ja estää monopolin syntymistä jonkin alihankintatuotteen kohdalla.

Takeissa tämä kahden toimittajan periaate tarkoittaa sitä, että saapuvat takeet ovat ulkomitoiltaan toistaan eroavaisia. Koneistetut kiertokanget sisältävät eri määriä jäystettä johtuen osittain kappaleiden ulkomittojen eroavaisuuksista. Joissakin kappaleissa ulkomittojen eroavaisuudet ovat jopa niin suuria, että ne estävät lähestymistä robotin työkaluilla. Tällaiset ”läskit” kiertokanget ovat kylläkin harvinaisia, mutta tämä tulee ottaa huomioon selvitetessä mahdollisia törmäyksiä robotin työkiertojen aikana. Kaikkia mahdollisia muuttujia ei pystytä hallitsemaan robotilla tai sen ohjauksella tai se ei ole tarkoituksenmukaista. Tällaiset asiat on huomioitava työohjeessa, josta selviää minkälaisia kappaleita robottisoluun saa ja ei saa laittaa.

Kappaleen ulkomitat vaikuttavat myös jäysteen syntyyn monella eri tavalla. Jäysteen muoto vaihtelee, jäysteen määrä vaihtelee, jäysteen sijainti vaihtelee (**kuva 26.**). Kaikki nämä muuttujat vaativat runsaasti testausta ja koekäyttöä, ennen kuin jäysteenpoisto robotilla onnistuu aukottomasti.



Kuva 26. Erilaisia epätyypillisiä jäysteitä.

W20-kiertokangen ulkopinnoissa on vähän koneistettua pintaa. Tämä vaikuttaa paikoituksiin robottisolussa ja tarttujassa. Työn aikana kehitettiin erilaisia menetelmiä kappaleen paikoittamiseksi ja kiinnittämiseksi jäystepöydälle.

7.2.2 Valmistus

Kiertokangen koneistaminen tapahtuu kahdessa vaiheessa ja kanki pitää välillä irrottaa koneistuskuutiosta katkaisun jälkeen. Kun kiertokanki on rouhittu, katkaistu ja hammaspinnot on koneistettu, kappale tarvitsee nykyisellä työkalustuksella hammastuksen osalta välijäystön (**kuva 27.**). Vasta tämän jälkeen on mahdollista suorittaa varsi – ja kansiosan kiinniveto.



Kuva 27. Jäystämättömiä kiertokankia lavalla rouhinnan jälkeen.

Kiinnivedon jälkeen kiertokangelle suoritetaan hienoajo, jossa silmukan laakeripinnat saavat lopullisen mittatarkkuutensa ja muotonsa. Kiertokangen valmistusmenetelmä vaatii välttämättä kuvatus kaksivaiheisen koneistuksen. Tässä vaiheessa kiertokankiverstaalla ei ole mahdollisuuksia investoida kokonaan automatisoituun järjestelmään, jossa kuution lataaminen, kiinniveto ja uudelleen lataaminen tapahtuisi automatisoidusti.

Nykyisillä työkaluilla mm. hammasjyrsimen jättämä jäyste on suurta ja vaikeasti poistettavaa. Kannen ja varren kiinnityspultin reiän pohja jää myös hyvin epätaiseksi ja pohjan siistimiseen kuluu paljon aikaa. Tämä kiinnityspultin reiän pohja on katsottu valmistuksessa erittäin kriittiseksi kohteeksi ja mahdollisen rasitusmurtuman alkamiskohdaksi. Tästä syystä sitä hiotaan ja jopa kiillotetaan erityisen tarkasti. Kuvassa 28 näkyy kiinnityspultin reiän pohja. Myöskään hammasjäysteen poisto eikä öljykanavien pyöristysten teko, ole mahdollista koneistuskeskuksen nykyisellä työkaluarsenaalilla. Tämän seurauksena myös koneistuskeskuksessa suoritetaan työkalujen uusintaa ja työkiertojen tarkastelua.



Kuva 28. Kuvassa näkyy öljykanava ja kiinnivetopultin reiän pohja.

7.2.3 Kuulapuhallus

Kaikki verstaalla valmistettavat kiertokanget käyvät kuulapuhalluksessa. W20-kiertokankien osalta kuulapuhalluslaitteiston lataaminen on suoritettu tähän asti manuaalisesti eri syöttöaseman kautta. Kuulapuhalluslaitteiston modifioinnissa on siis löydettävä kultainen keskitie, jolloin erilaisia kappaleita voidaan kuulapuhalltaa samassa solussa.

Jotta kiertokangen kulku verstaalla saataisiin optimoitua ja turhat työvaiheet karistua, on ensiarvoisen tärkeää, että kiertokanki menee myös kuulapuhalluslaitteeseen kokonaisena. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kansi ja varsiosa ovat kiinnitettynä toisiinsa pulteilla. Myöskään kuulapuhalluskuulia ei saa missään nimessä päästää pulttien kierteisiin.

Nykyään puhalluksen yhteydessä käytössä oleva tulppaus ei ole täysin varma tapa estää kuulien pääsyä öljykanavien kautta kierteisiin. Tämän takia kuulapuhallus suoritetaan nykyisellään siten, että kappaleet ovat käsivaralla kiinnivedettyinä erilaisilla työvaratapeilla.

Kuulapuhalluksen onnistuminen siis edellyttää tulppauksen kehittämistä ja toisaalta myös tulppauksen varmistamista konenäkösovelluksella.

7.2.4 Robotti

Mietittäessä toiminnan automatisointia keskellä toimivaa tuotantoympäristöä huomataan, että kaikki vaikuttaa kaikkeen. W20–kiertokangen jäysteenpoisto lisääminen jo toimivaan jäysteenpoistosoluun, ei ole mutkatonta. Aluksi täytyi selvittää onko tehtävä ylipäättään suoritettavissa. Sen lisäksi täytyi selvittää onko automatisoinnista mitään hyötyä tuotannon kehittämislle.

Kaikki tämä vaatii laajaa esityötä, testausta, aikaa ja osaavaa henkilöstöä ja vielä kerran aikaa. Robottisolun modifioiminen uuden kappaleen käsittelyyn on oletettu olevan mahdollista. Tämä oletamus on myös osoittautunut oikeaksi.

7.3 Ohjausryhmä

Opinnäytetyön ajaksi jäysteenpoiston kehitysprosessin tueksi perustettiin ohjausryhmä. Ohjausryhmään kuuluivat kankiverstaan päällikkö Tapio Kaunismäki, työnjohtaja Timo Vuorenmaa, opinnäytetyön ohjaaja Jussi Laulaja, kehitysinsinööri Sami Koivisto ja koneistuksesta vastaava Tony Takkula. Lisäksi ohjausryhmän kokouksiin osallistui ohjaava opettaja, lehtori Mika Billing. Ohjausryhmän tarkoitus oli koordinoita tavoitteita, varmistaa työn eteneminen aikataulussa ja toimia kriittisenä elimenä esitellessä uusia kehitysideoita.

7.4 Nykyisen robottisolun kapasiteetti

Nykyisellään robottisolu poistaa jäysteet W32–kiertokangesta. Käytännössä jäysteenpoisto suoritetaan kolmelle eri kappaleelle, joista kiertokanki koostuu. W32–kiertokanki on jaettu varteen ja alaosaan, joista alaosa on jaettu vielä kahteen erilliseen komponenttiin, väliosaan ja kanteen. Nämä osat menevät robotille siten, että varsiosa menee robottisoluun yhdellä lavalla ja väliosa ja kansi yhdellä lavalla. Robottisolun toimintaan kuuluu kappaleen jäysteenpoisto ja kuulapuhallus automatisoidusti. Huomion arvoinen asia on, että robottisolun toimintaan vaikuttava kuulapuhalluskone kuulapuhaltaa myös kaikki W20–kiertokanget jo nykyisellään.

Kuulapuhalluskoneen lataaminen tapahtuu manuaalisesti robottisolun ulkopuolelta, mutta ajallisesti W20-kiertokankien puhallusaika vaikuttaa myös robottisolun toimintaan.

W32-kiertokangen varsiosan vaiheaika robottisolussa on noin -- minuuttia. Tämän työn laskelmissa käytetään aikaa, joka kuluu 6 varren jäysteenpoistoon ja kuulapuhallukseen (1 lava). Kuuden W32-kiertokangen varren vaiheaika robottisolussa on - h -- min -- s. Kun tämä aika jaetaan kuudella, saadaan yhden varren robottisolussa kuluttama aika. Aika on pyöristetty ylöspäin seuraavaan täyteen minuuttiin.

W32-kiertokangen alaosan vaiheaika robottisolussa on noin -- minuuttia. Tämän työn laskelmissa käytetään aikaa, joka kuluu 4 alaosaparin jäysteenpoistoon ja kuulapuhallukseen (1 lava). Neljän alaosaparin vaiheaika robottisolussa on - h -- min -- s.

Laskennallisesti opinnäytetyössä käsitellään tuotantomääriä kolmessa eri skenaariossa. Valmistusmäärät W32-kiertokangen osalta ovat kuvattu alla olevassa taulukossa (**taulukko 2.**).

Taulukko 2. W32-kiertokankien valmistusmäärät.

Volume	W32
Min	
Average	
Max	

7.5 Laskennallinen kapasiteetti

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää laskennallisesti käyttöasteet robottisolun toiminnasta kolmella eri tuotantoskenaariolla. Näissä tavoiteluvuissa on pyritty arvioimaan mahdollisia tuotantomääriä ja niiden mukaan on laskettu myös robottisolun käyttöastetta. Nämä kolme tuotantoskenaariota on listattu taulukossa 3.

Taulukkoon on kirjattu arvio, sekä W20–kiertokankien määrästä, että W32 kiertokankien määrästä. Arviot on tehty tuotanto – ja huoltomoottorien tarpeeseen.

Taulukko 3. Kiertokankien arvioituja valmistusmääriä.

W20 WQDC + huolto		W32/42 + huolto
Minimum		
Average		
Maximum		

Laskelmissa käytetään koko vuoden kaikkia tunteja. Tämänkaltaisissa tuotannon-kehittämistoimissa Wärtsilässä on vallalla ajattelu, jolla pyritään saamaan tehokkaasti käyttöön kaikki mahdolliset resurssit. Samalla tavoin robottisolun käyttöasteessa oletetaan, että robottisolu on käytössä 100 % vuoden tunteista.

Robottisolun vaiheajoista on tiedossa W32–kiertokangen jäysteenpoistoon kuluva aika. Koko W32–kiertokangen jäysteenpoistoon ja kuulapuhallukseen kuluu robottisolussa -- minuuttia. Tätä aikaa voidaan käyttää laskelmissa apuna selvittäessä mahdollisuutta jäystää myös W20–kiertokanki samassa solussa.

Laskelmissa käytetty robottisolun vaiheaika tarkoittaa aikaa, jonka käsiteltävä kappale kuluttaa, sekä jäysteenpoistossa, että kuulapuhallusasemassa siirtoineen. Mikäli tiedossa on vain kuulapuhallusaika, se mainitaan tekstissä erikseen. Nykyisellään robottisolun käyttöaste on --- %.

Robottisolun kapasiteettia ja sen riittävyyttä arvioitaessa on siis ensin selvitettävä nykyisiin työkiertoihin kulunut aika. Tämä on suoritettu kellottamalla robotin työvaiheita. Tiedossa on W32–kiertokangen solussa käyttämä aika ----- tuntia ($\frac{1 h}{60 min} \times -- min$). Tämä yksittäisen W32–kiertokangen solussa käyttämä aika kerrotaan arvioidulla W32–kiertokankien valmistusmäärällä eri skenaarioiden mukaan. Robottisolun kapasiteetti W32–kiertokankien osalta selviää taulukosta 4.

Taulukko 4. Solun kapasiteetti W32–kiertokankien osalta.

VOLUME	KPL	KPL x aika (h)	h / vuodessa
Minimum			
Average			
Maximum			

Kun tämä W32–kiertokankien robottisolussa käyttämä aika vähennetään vuotuisesta käytettävissä olevasta ajasta 8 760 h, saadaan aika joka on käytettävissä W20–kiertokangen jäysteenpoistoon, kuulapuhallukseen ja käsittelyyn robottisolussa. Taulukossa 5 on esitetty W20–kiertokankien käsittelyyn jäävä robottisoluaika.

Taulukko 5. W20–kiertokangen käsittelyyn jäävä aika koko vuodessa.

VOLUME	vuoden tunnit – W32 tunnit	W20-kiertokangelle jäävä aika (h)
Minimum		
Average		
Maximum		

Selvitettäessä robottisolun kapasiteettia W20–jäysteenpoistoon ja kuulapuhallukseen tulee eri skenaarioiden mukaan laskettu vuosittainen aika jakaa vielä yksittäiselle kangelles. Näin saadaan selville laskennallinen maksimiaika, jonka yksittäinen kiertokangi voi robottisolussa kuluttaa. Taulukossa 6 on laskettu yksittäiselle W20–kiertokangelle jäävä robottisoluaika.

Taulukko 6. W20–kiertokangelle jäävä robottisolu aika eri skenaarioiden mukaan.

W20	KPL	$\frac{aika}{KPL}$	h / KPL
Minimum			
Average			
Maximum			

7.6 Kiertokangen jäysteenpoiston järjestäminen

Jäysteenpoistoprosessin kehittämiseksi työssä selvitettiin erilaisia vaihtoehtoja kuinka työn voisi suorittaa. Vaihtoehtoja prosessin toteuttamiseksi oli alkuvaiheessa kuusi kappaletta. Kaikki alkuperäiset vaihtoehdot ja niiden työvaiheet ovat kuvattu liitteessä (LIITE 1.). Ohjausryhmän kokouksessa valittiin kaksi vaihtoehtoa, joiden pohjalta ongelmaa lähdettiin ratkaisemaan.

Tuotannollisista syistä kaikkia tarvittavia työkalutestejä ei voitu suorittaa koneistuskeskuksessa, joten tarvittavia tuloksia ei voitu käyttää päätöksen teon tukena. Työkalutestien puutteellisuuden takia tässä vaiheessa tehtiin oletuksia koneistettujen pintojen laadusta, jotta jäysteenpoistoprosessin kehitystyö eteni sovitussa aikataulussa. Ohjausryhmän kokouksessa maaliskuussa sovittiin, että jäysteenpoistoprosessia kehitetään vaihtoehdon 2 mukaisesti. Tätä vaihtoehtoa 2 jalostettiin ohjausryhmän kokouksissa aivan kehitystyön loppumetreille saakka. Alla on kuvattu lopullinen kehitysversio kierto kangen työvaiheista verstaalla.

Tässä vaihtoehdossa kierto kangellesuoritetaan rouhinnan jälkeen manuaalinen jäysteenpoisto jäysteenpoistopaikalla (hammasjäystö ”elintasoerkkerillä”). Tämän jälkeen kierto kanki vedetään kiinni hydraulisesti ja siirretään hienoajoon. Hienoajon jälkeen kierto kangen kansi ja varsi irrotetaan toisistaan, kierto kangelles tehdään öljykanavan pyöritys ja tulppaus. Tässä vaiheessa hiotaan tarvittaessa myös

kiinnityspultinreian pohja. Tämän jälkeen kanki siirretään käsivaralla kiinnivedettynä kuljetuspaletilla robottisolun jäysteenpoistoon ja kuulapuhallettavaksi. Robottisolussa kiertokanget kuvataan konenäöllä ja varmistetaan öljykanavien tulpauksen oikeellisuus.

Kiertokangen tullessa pois robottisolusta se puhdistetaan puhalluskuulista, varsi ja kansi irrotetaan käsityönä toisistaan ja asetetaan laatikkoon säröntarkastukseen. Tässä viimeistelyvaiheessa tarkistetaan myös, että kiertokanki täyttää vaaditut kriteerit ja tarvittaessa tehdään käsin korjaavia toimenpiteitä.

7.7 Robottisolun vaiheajoja

Robottisolun vaiheajoja mietittäessä tulee kiinnittää huomiota pisimpään solussa suoritettavaan tehtävään. Toisaalta myös tehtävään joka on välttämätöntä suorittaa ja jonka kestoon ei kyetä vaikuttamaan. Tässä robottisolussa tällainen yksittäinen tehtävä on kiertokankien kuulapuhallus. Alkutilanteessa kuulapuhallusaikaan ei ole tarvetta saada suuria muutoksia ja kuulapuhallusaikana voidaankin pitää nykyinen nopeus -- minuuttia / 2 kiertokankea.

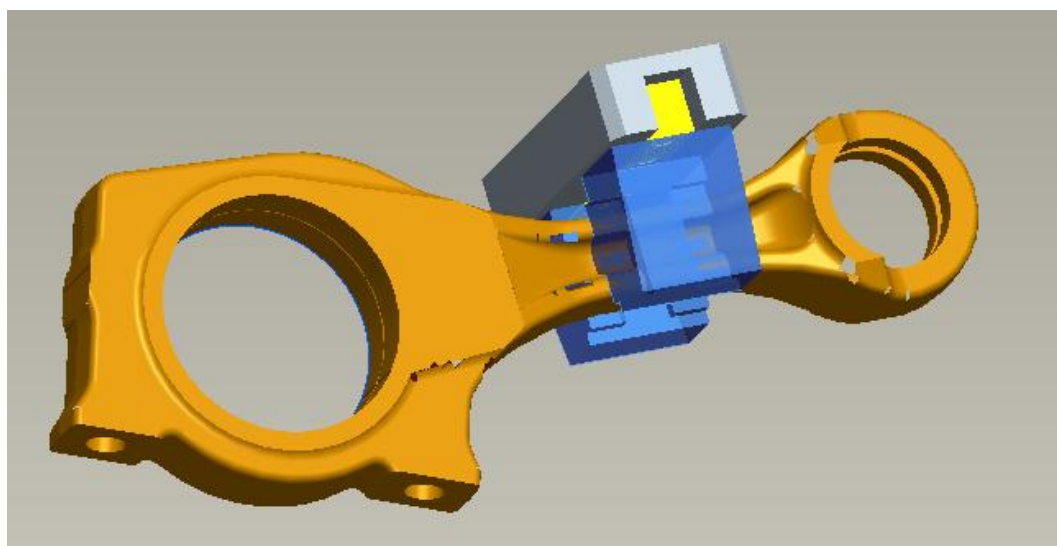
Robottisolun toimintaa, kapasiteettia ja eri liikkeisiin kuluva aikaa saadaan helposti selvitettyä tarkastelemalla nykyisen robottisolun toimintaa. Vaikka solussa käsitellään nyt eri kappaletta, niin mm. siirtoihin ja oven aukenemiseen kuluva aika pysyy vakiona vaikka kappale vaihtuisikin.

7.8 Tarttuja

Tarttujan suunnittelun lähtökohta oli toimiva ja yksinkertainen lopputulos. Alkuvaiheessa ajatuksena oli, että nykyisen W32-variosan tarttujan modifioinnilla voitaisiin suorittaa myös W20-kiertokangen siirtäminen. Asian lähempi tarkastelu osoitti, että tässä vaiheessa tuotannon vaatimat vaiheajat eivät ole niin kriittisiä, ettei robotti ehtisi vaihtamaan tarttujaa eri kiertokankien tullessa soluun. W32-kiertokangen tarttujan modifiointi olisi myös vaarantanut nykyisen tarraimen käytön modifioinnin aikana ja se olisi vaikuttanut haitallisesti tuotantoon. Tämän perusteella W20-kiertokangen tarttujasta haluttiin suunnitella täysin oma versionsa. Kiertokankiverstaalla on myös jo olemassa runko tarttujalle. Tämä runko on jää-

nyt verstaalle tarpeettomana edellisen kehitysprojektin osoittautuessa tarpeettomaksi.

Tarttujasta tehtiin kaksi 3 D-mallia joiden perusteella tarkasteltiin niiden toimivuutta. Ensimmäisessä mallissa ajatuksena oli tarttua muotosulkeisesti kiertokankaan sen varren I-profiilista. Tämän mallin heikkoutena on kuitenkin kiertokangen painopisteen sijainti kaukana tartuntapistestä. Tämä rasittaisi tarttujan mekaanisia osia tarpeettomasti (**kuva 29.**). Toistaiseksi tästä tartuntavaihtoehdosta luovuttiin.

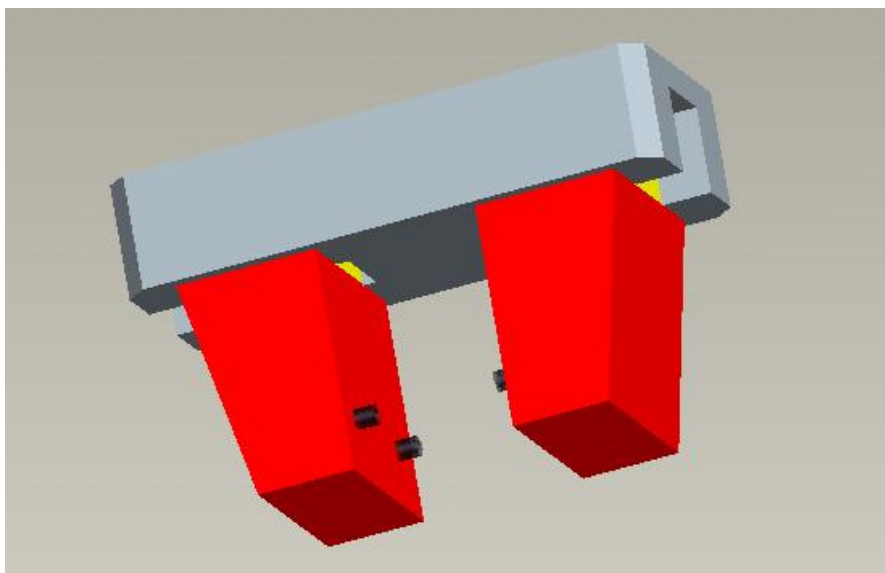


Kuva 29. Tarttuja, jolla tartunta on suoritettu kiertokangen varresta

Kiertokankiverstaan robottisolussa on käyttökokemuksia myös ns. suorasta tartunnasta, jossa tarttuja on kiinni käsiteltävässä kappaleessa ilman muotosulkeista. Tällaista tartuntatapaa käytetään W32–alaosien kohdalla. Koska tarttujan puristuskkyky on riittävä, ei tartunnan varmistamiseksi tarttujaan tarvitse tehdä erillistä muotosulkeista profiilia.

Tartunnan takaamiseksi tarttujassa on erillisellä liikkuvalla kärjellä varustetut nastat, joiden ulkopinta on karhennettu. Nämä liikkuvat nastat mahdollistavat sen, että tartunta tapahtuu aina nastan koko halkaisijan alueella. Tartunta saadaan näin

toteutettua myös koneistetulta pinnalta joten tarraimen tarkkuus paranee. Alla periaatekuva tarttujasta (**kuva 30.**).



Kuva 30. Tarttujan periaatekuva

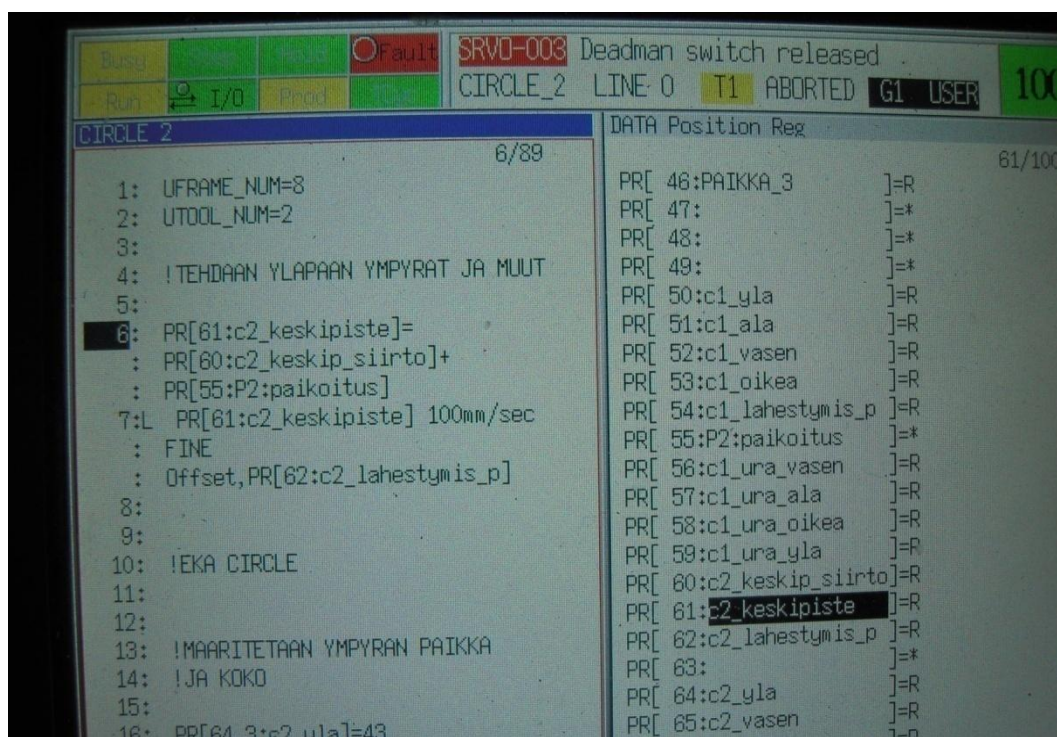
7.9 Ohjelmointi

Robotin ohjelmointi suoritettiin pääosin Vaasan ammattikorkeakoulun tiloissa Technobotnialla olevalla Fanuc-robotilla. Robotin ohjaus vastaa kiertokankiversaalla olevan jäysterobotin ohjausta ja toteutettavat toimenpiteet olivat testattavissa lähes reaaliolosuhteissa.

Kiertokankiverstaalla käytössä olevat robottiohjelmat on aiemmin ostettu palveluntarjoajalta suoraan osana jäysteenpoistosolua ja käytön myötä ohjelmia on muokattu omiin tarpeisiin paremmin sopivaksi. Nyt käyttökokemusten kasvettua ohjelmien rakentaminen olisi mahdollista myös jäysteenpoistosolussa, mutta tämä ei ole tuotannollisista syistä järkevää. Tästä syystä jäysteenpoisto-ohjelman teko W20-kiertokangelle pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman valmiiksi ammattikorkeakoulun tiloissa.

Tällä hetkellä kiertokankiverstaan robottisolussa on ollut käytössä ohjelmointitapa, jossa lukuisa joukko pisteitä on opetettu robotin maailmankoordinaatistoon. Tämä on ollut mahdollista silloin kun työskentelyalue on ollut lyötynä lukkoon eikä robottisolussa olevia paikoituksia ole enää tarvinnut siirrellä. Paikkatiedot on opetettu robotille pistetietoina P[].

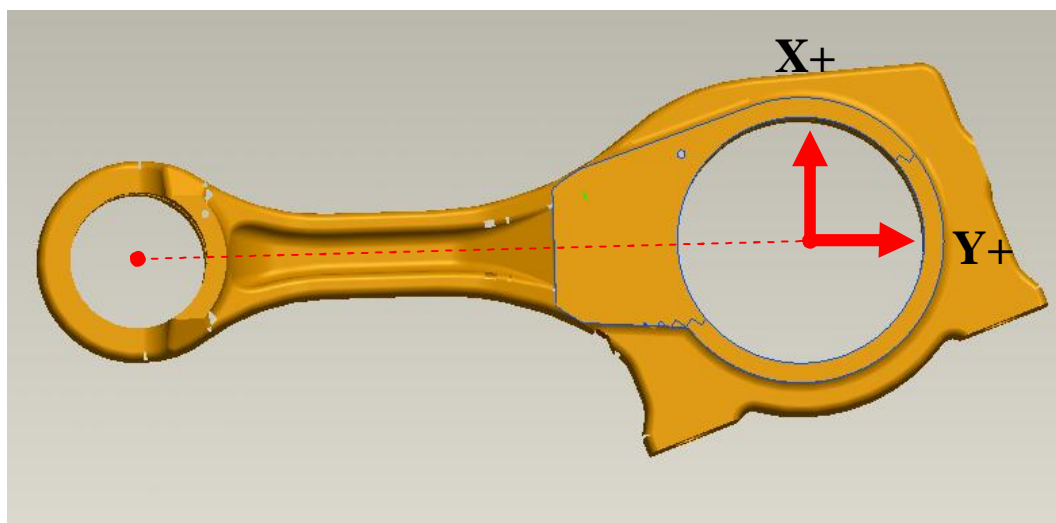
Nyt tavoitteena oli saada mahdollisimman pitkälle parametrisoitu ohjelmarakenne siten, että tehtävät muutokset olisivat mahdollisimman yksinkertaisia ja vähätöisiä toteuttaa. Koska robotin ohjelmointi sisälsi paljon testausta ja toisaalta ohjelmasta piti saada myös siirrettävä, tuli ohjelman runko miettiä sen mukaiseksi. Robotin ohjelmointi suoritettiin on-line ohjelmointina käyttäen käsiohjainta (**kuva 31.**).



Kuva 31. Ohjelmaa käsiohjaimen näytöllä.

Ohjelmoinnin perusajatuksena on siirrettävyys, parametrisyys ja selkeys. Tämä on toteutettu siten, että robottiohjelman runkona on oma koordinaatisto (user frame 9), missä toteutettavat jäysteenpoisto – ja siihen liittyvät käskyt suoritetaan. Näin koordinaatiston saa siirrettyä toisen robotin maailmankoordinaatistoon sellaise-

naan ja user frame–koordinaatiston asentoa ja suuntaa voi muuttaa robottisolun layout–vaatimusten mukaan. Koska opetetut paikkapisteen ovat sidottuja siirrettävään koordinaatistoon, siirtyvät ne koordinaatiston muutosten mukana oikeisiin paikkoihin. Koordinaatiston luonti on riippuvainen myös kappaleen asennosta kuvan 32 mukaan. Z–akselin positiivinen suunta on kappaleesta ylöspäin, eli siis maailmankoordinaatiston suuntaisesti.



Kuva 32. Koordinaatiston sijoitus suhteessa kiertokankeen.

Toinen ajatus on, että ohjelmassa olisi mahdollisimman vähän opetettavia pisteitä. Ohjelma rakentuu näin muutaman referenssipisteen ympärille, muiden pisteiden saadessa arvonsa tämän pisteen siirtymätietoina, offset–arvoina. Tämä on mahdollista silloin kun käsiteltävästä kappaleesta on tiedossa riittävän mittatarkat tiedot ja kun tuotannon laatu on tasaista.

Offset–arvojen lisääminen robottiohjelmaan tuo myös lisäarvon jolloin liikekäskyistä ja paikkatiedoista saa parametrisiä. Offset–arvot sijoitetaan Fanuc–robotin ohjauksessa paikkarekisteri tietoihin [PR]. Näitä paikkarekisteri tietoja voidaan muuttaa eri ehtolausein ja käskyin. Näin samoja paikkarekisteritietoja voidaan käyttää ohjelman edetessä uudelleen muuttamalla vain jotain osaa paikkatiedoista. Esimerkiksi työkalupisteen paikka voi olla sama, mutta työkalun orientaatio eri.

Paikkarekisteritietoja käytettiin ohjelman teon aikana määrittämään mm. työkalun kulmaa, ympyräliikkeen keskipistettä ja ympyrän säteen arvoa.

7.10 Testausta

7.10.1 Ohjelma

Robotin ohjelmoinnin yhteydessä suoritettiin myös työkalutestausta, syöttöarvojen testausta, lähestymistestausta, kiinnityksen testausta ja luonnollisesti itse ohjelman testaamista. Robottiohjelmaa myös koetettiin siirtää ammattikorkeakoulun robotilta kiertokankiverstaan robottisoluuun. Tämä kokeilu sujui onnistuneesti ja kokeen jälkeen oli selvää, että muunkin ohjelman siirto on mahdollista.

Ohjelman siirron yhteydessä ilmeni myös robottien toimilaitteiden eroavaisuuksia. Technobotnialla olevassa robotissa käsivarteen menevät anturoinnit ja kaapeloinnit oli sijoitettu eri asentoon kuin kiertokankiverstaalla olevassa robotissa. Tämä taas aiheutti lisää työtä törmäystarkasteluihin. Myös robottiohjelman parametreihin jouduttiin tekemään muutoksia. Ensimmäisissä testauksissa robotin työkalua pidettiin kohtisuorassa kappaletta vasten ja silloin ohjelma toimi moitteetta. Toisella testauksella robotin työkalulle annettiin eri kulmia ja orientaatioita. Tällä testauksella huomasimme, että robotin konfiguraatiot olivat jokseenkin erilaiset Technobotnialla olevassa robottisolussa. Robotin ranteen kulmaa ohjaaviin liikekäskyihin piti siis tehdä muutoksia.

Ohjelmoitaessa oli myös kiinnitettävä huomiota paikkarekistereiden käyttöön. Nyt tehtävässä ohjelmassa ei saanut ilmetä samoja paikkarekisteri tietoja, mitkä ovat jo käytössä kiertokankiverstaan robottisolussa. Tämänkaltaiset huomiot ovat ensiarvoisen tärkeitä siirrettäessä robottiohjelmia solusta toiseen, jotta vältytään ”tuhoamasta” jo olemassa olevia työkiertoja.

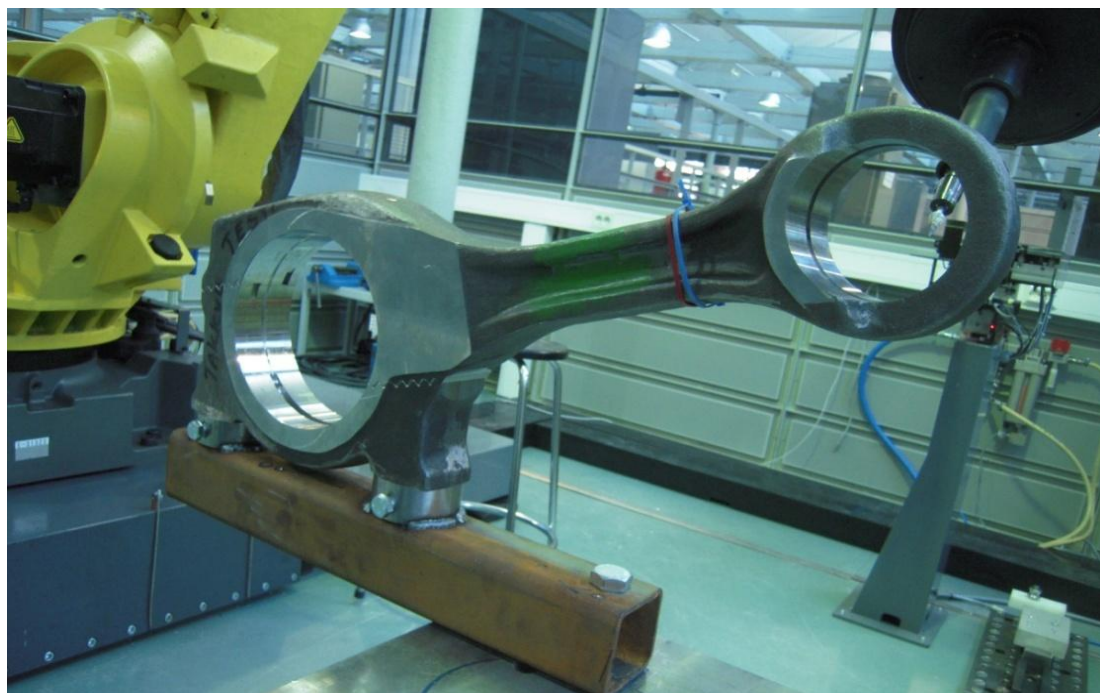
7.10.2 Jäysteenpoisto ja työkalut

Jäysteenpoiston testaamiseksi robotilla oli ensiarvoisen tärkeää saada kappale kiinnitetyksi luotettavasti. Tämän lisäksi kiertokanki tuli saada asetettua helposti lähestyttäväksi ja kiinnitettyä mahdollisimman yksinkertaisesti. Myös tarvittavien

uusien työkalujen ja koneviilojen testaus suoritettiin Vaasan ammattikorkeakoulun tiloissa. Testiympäristössä Technobotnialla käytössä oli koneistettuja kiertokankia ja robottisolu työkaluvaihtajineen.

Alkutilanteessa robottiohjelman testit suoritettiin W20-kiertokangen ollessa lappeellaan. Kokeilun edetessä tutkittiin myös vaihtoehtoja, joissa kiertokanki olisi pystyasennossa. Ohjausryhmän kokouksessa oli jo sovittu, että sekä varsi-, että kansi osa ovat kiinni toisissaan kiertokangen ollessa robottisolussa. Jäysteenpoistopaikassa päätettiin hyödyntää kiinnivetopultteja kappaleen orientoimiseksi käsittelypaikassa ja kiertokanki sijoitettiin pystyasentoon.

Kiertokangen ollessa pystyssä, sitä voidaan lähestyä molemmilta puolilta ja kaikki robotilla käsiteltävät pinnat ovat lähestyttävissä yhdellä kiinnityksellä. Kappaleen kiinnitys jigiin suunniteltiin toteutettavaksi paineilmalla tai sähköisesti. Ajatus tämäntyyppisestä paikoitusjigistä tuntui niin hyvältä, että siitä valmistettiin prototyyppi Vaasan ammattikorkeakoulun tiloissa. Prototyyppiä testattiin ja se todettiin testikappaleella toimivaksi jäysteenpoistopaikaksi (**kuva 33.**).



Kuva 33. Prototyyppi paikoitusjigistä.

Jäysteenpoiston testausten edetessä kävi kuitenkin ilmi, että kappaleen paikoittaminen luotettavasti ei onnistukaan edellä esitetyllä tavalla. Paikoittamiseen suunniteltujen koneistettujen tasojen tarkkuus verrattuna silmukoiden reikien keskipisteisiin oli liian epätarkka. Tämä epätarkkuus johtuu siitä, että nämä koneistukset tehdään eri kiinnityksessä. Tästä syystä edellä esitetty paikoitusjigi jouduttiin hylkäämään.

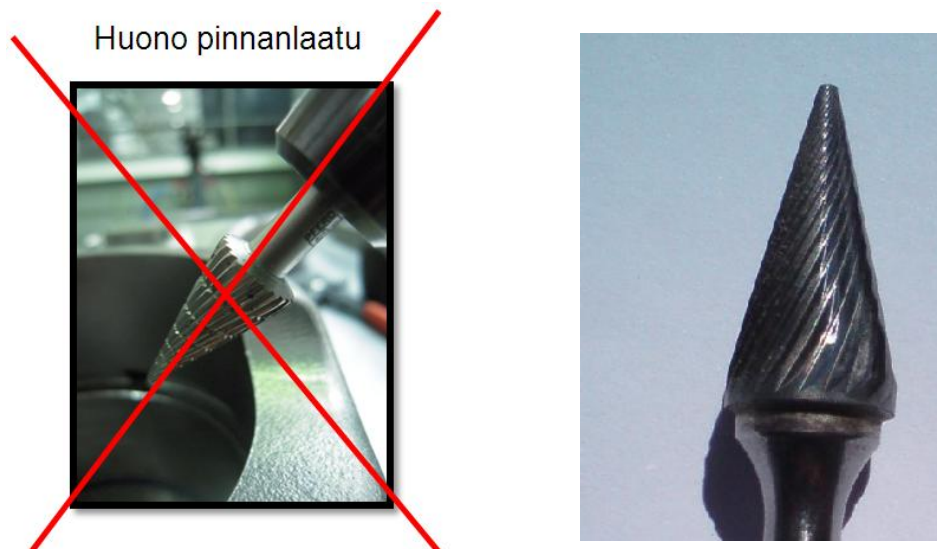
Opinnäytetyön aikana testattiin erimallisia koneviiloja ja hiovaa harjaa. Aiemmin robottisolussa käytössä ollut työkaluarsenaali todettiin käyttökelpoiseksi myös W20-kiertokangelle. Toisaalta työkalustusta oli hyvä tarkastella uudelleen jotta välttyttäisiin urautumiselta vanhoihin menetelmiin epätarkoituksenmukaisilla työkaluilla. Työkalutestejä suorittaessa pidettiin myös mielessä se tosiasia, että työkalun kuluminen on mahdollisimman vähäistä silloin kun työkalua käytetään juuri sille suunniteltuun tehtävään. Työkaluja (**kuva 34.**) pitää siis olla riittävä määrä, jotta työ voidaan suorittaa tehokkaasti, mutta samalla turhia työkalun vaihtoja tulisi välttää.



Kuva 34. Markkinoilla olevia profiileja koneviiloille. /15/.

Työkalujen testaaminen oli haastavaa. Ohjelmoitaessa uusia työstöratoja robotille, työkalun poistamaan materiaalin määrään vaikuttaa useat eri asiat. Tällaisia asioita on syöttönopeus, työkalun paine, työkalun kulma, poistettavan materiaalin määrä, – laatu, – paksuus, jäysteen asento suhteessa työkaluun sekä kappaleeseen, josta jäystettä poistetaan ja työkalun pyörimisnopeus. Koska kappaleelle vasta suunniteltiin uutta robotisoitua jäysteenpoisto-ohjelmaa, ei tässä vaiheessa kaikkia muuttujia voitu hallita. Ohjelman liikeradat olisi tullut määritellä alkuvaiheessa uudelleen jokaiselle työkalulle. Toisaalta käsin tehtävät työkalutestit eivät anna aivan realistista kuvaa vs. robotilla tehtävät työkalutestit. Käsivaraisesti pidettävät koneviilat joustavat eritavoin kuin koneellisesti tuetut koneviilat ja käsivaraisesti pidettävät koneviilat pyrkivät herkästi myös karkaamaan ja muuttamaan suuntaa työstettävän kappaleen – ja työkalun pyörimissuunnan mukaisesti.

Työkalujen testaamisessa voitiin myös hyödyntää kokemuksia jo hyväksi havaituista koneviilatyökaluista. Näiden jo olemassa olevien tietojen lisäksi hankimme myös testikokemusta muutamilla uusilla jäysteenpoistoon mahdollisesti sopivalla työkalulla. Koneviilaterän profiilin lisäksi myös leikkuupintojen määrällä on merkitystä jäysteenpoiston laatuun. Jäysteenpoistotesteissä osoittautui, että terässä oleva lastunkatkaisu-ura huonontaa jäysteenpoistossa syntyvää pinnanlaatua. Testien perusteella parhaimman pinnanlaadun saa ilman lastunkatkaisutoimintoa olevalla terällä (**kuva 35.**).



Kuva 35. Oikealla jäysteenpoistoon soveltuva koneviilaterä.

Työkalutestejä suoritettiin myös käsityönä, kuten esimerkiksi harjatyökalulla (**kuva 36.**), jossa on hiovaa materiaalia. Tämä harjatyökalun käyttöönotto ei kuitenkaan palvele W20-kiertokangen jäysteenpoistoa, vaan sitä tullaan mahdollisesti hyötykäyttämään muissa tehtävissä.



Kuva 36. Harjatyökalu jäysteenpoistoon.

7.10.3 Törmäystarkastelu

Törmäystarkastelu suoritettiin kiertokankiverstaan robottisolussa. Näin tehtynä tarkastelussa voitiin todeta robotin ulottuvuus haluttuihin orientaatioihin ja työkalujen sopivuus. Tarkastelun aikana haasteeksi osoittautui kiertokangen yläpään silmukan öljyuran jäysteenpoisto. Lähestymiskokeissa robottisolussa nähtiin hel-

posti, ettei nykyisillä työkaluilla kyetä tuota öljyuraa jäystämään. Kiertokangen alapään silmukka, jonka halkaisija on suurempi, mahdollistaa hyvin lähestymisen nykyisellä koneviilalla ja työkaluilla. Tämä selviää myös kuvasta 37.



Kuva 37. Törmäystarkastelua koneviilatyökalulla.

Kuvaa tarkasteltaessa voi myös havaita, ettei työkalu mahdu lähestymään yläpään silmukan öljyuraa (kuvan 37 alareunassa oleva pienempi silmukka). Lähestymistä ei voi helpottaa robotin eri orientaatiolla ja näin ollen haluttua jäysteenpoistotyötä ei voida toteuttaa olemassa olevalla työkaluvarustuksella.

7.10.4 Kuulapuhallus ja tulppaus

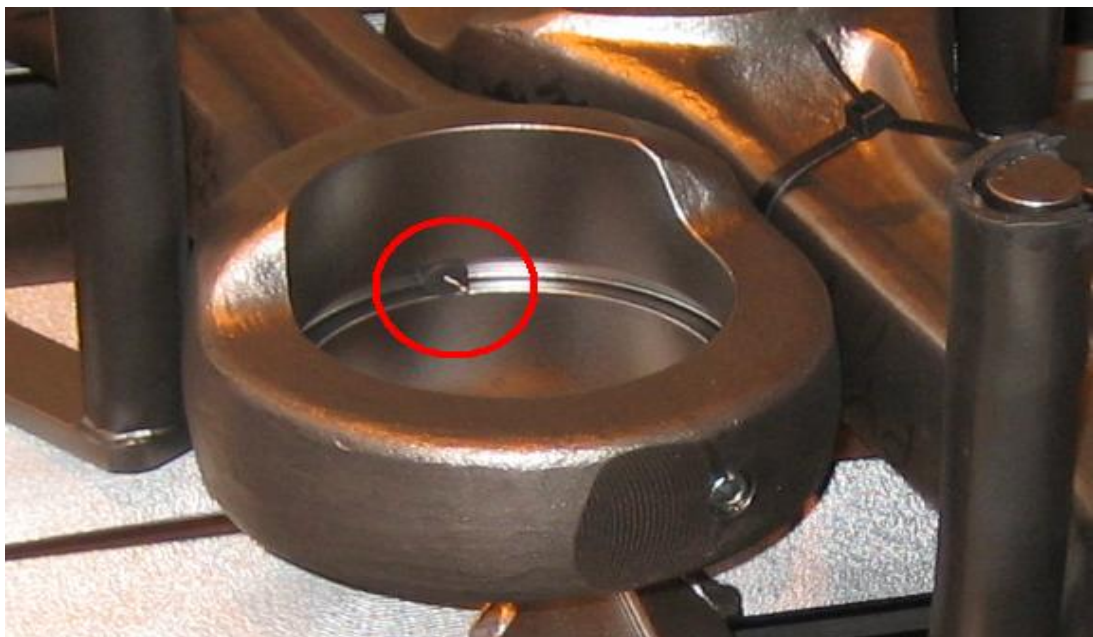
W20-kiertokangen kuulapuhallus on totuttu tekemään ennen sisäpuolista jäysteenpoistoa. Hienoajon jälkeen kiinniveto on purettu ja pultit on jätetty käsikireyteen. Nyt haluttiin selvittää mitä kiertokangelle tai paremmin sen kiinnityspulteille tapahtuu kun se kuulapuhalletaan kiinnivetopulttien ollessa koneistuskireydessä.

Testi suoritettiin asettamalla kaksi hydraulisesti kiinnivedettyä W20–kiertokankea kuulapuhallukseen (**kuva 38.**).



Kuva 38. W20–kiertokangen kuulapuhallus kiinnivedettynä.

Tulppasimme toisesta testikangesta öljykanavat normaalisti ja toinen testikanki jätettiin kokonaan tulppaamatta (**kuva 39.**). Itse kuulapuhallus suoritettiin käytössä olevan ohjelman mukaisesti.



Kuva 39. Käytössä oleva tulppaus punaisen ympyrän sisällä.

Kuulapuhallustestin tulos oli, että kiertokanki jonka öljykanava oli tulpattu kumitulpilla, käyttäytyi avattaessa samalla tavoin kuin normaalisti kuulapuhallettu kiertokanki. Kiertokanki jonka öljykanavaa ei ollut tulpattu, romuttui. Kuulapuhalluksessa käytettäviä puhalluskuulia oli päässyt öljykanavaa pitkin kiinnivetopulttien kierteisiin ja avattaessa venytettyjä pultteja puhalluskuulat hieroutuivat kierteisiin, kiilaten kiinnivetopultit avaamattomiksi.

Testin tulos vahvisti sen, että öljykanavan tulppaus on varmistettava jokaisesta kuulapuhallukseen menevästä kiertokangesta ja kiertokangen öljykanavan tulppaus on saatava toimimaan 100 %:n varmuudella.

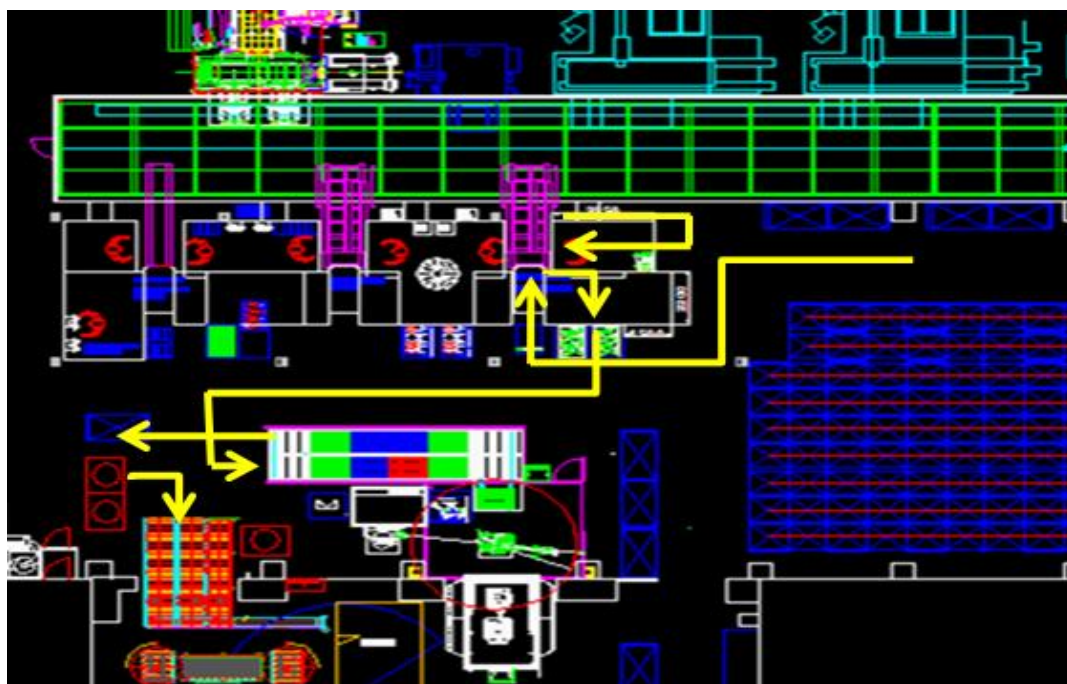
8 PROJEKTIN TULOKSET

8.1 Muutokset materiaalivirrassa

8.1.1 Virtaus

Mietittäessä W20–kiertokangen jäysteenpoiston automatisointia robotille, haluttiin myös parantaa yleisesti kappaleen kulkua kiertokankiverstaan sisällä. Uusi työskentelyjärjestys muuttaa myös muita kiertokankiverstaalla tehtäviä koneistuksen lataustöitä. Uuden järjestelyn myötä sekä W20–kiertokangen lataus, että poistaminen kuutiolta tapahtuu yhdellä latausasemalla.

Materiaalivirtaan tehtävät muutokset mahdollistavat sen, että W20–kiertokankea ei tarvitse enää siirtää edestakaisin kiertokankiverstaan sisätiloissa. Kappaleen virtaus on yhdensuuntainen ja lattiatasossa tapahtuvaa välivarastoinnin tarvetta ei pääse syntymään (**kuva 40.**). Materiaalivirtaan vaikutetaan kappaleen kiertokulun muuttamisen lisäksi myös valmistettavien kappaleiden lukumäärän mukauttamisella tuotannon tarpeisiin.



Kuva 40. W20–kiertokangen eteneminen merkitty keltaisin viivoin.

Optimaaliseksi lavakappalemääräksi katsottiin 6 kpl kiertokankia. Parillinen lukumäärä perustuu kuutiolta valmistuviin eriin. Rouhintavaiheessa kuutiolta valmistuu aina kaksi kiertokankea kerrallaan. Kiinnivedon jälkeen kappaleet hienojetaan ja hienojosta valmistuvia, robottisoluun meneviä kappaleita saadaan aina neljä kappaletta kerrallaan. Alkuvaiheessa ei ole järkevää kerätä suurempia määriä kiertokankia samalle kuljetuspaletille kuulapuhalluskaapin rajallisen käsittelykyvyn takia. Kuulapuhallusasemassa kuulapuhalletaan uuden työkierron aikana kaksi W20-kiertokankea kerrallaan ja suuremmat määrät kasvattaisivat turhaan robotisolun rullaradalla olevaa puskuria. Tällä tavoin saadaan kiertokankia siirtymään jouhevasti vaiheesta toiseen, eikä pullonkauloja tai hidasteita pääse syntymään keskeneräiselle tuotannolle.

8.1.2 Uusi työkierto

1. kiertokanki rouhittuna käsin tehtävään jäysteenpoistoon kahdessa osassa
 - 1.1. kansi
 - 1.1.1. hammasjäysteen poisto käsin
 - 1.2. varsi
 - 1.2.1. hammasjäysteen poisto käsin
2. kiertokanki kiinni penkissä, jossa kannen ja varren kiinniveto hydraulisesti hienoajoa varten
3. hienoajo kuutiolla
4. hydraulisen kiinnivedon purkaminen
5. öljykanavan pyöristysten teko ja öljykanavan tulppaus. tarvittaessa hiotaan kiinnivetopultin reiän pohja.
6. varren ja kannen kiinniveto työvarapulteilla.
7. siirto kuljetuspalettiin jolla siirretään lavan täytettyä robottisoluun
8. tulppauksen kuvaus konenäöllä, jäysteenpoisto sisä – ja ulkopinnoilta robotilla
9. kuulapuhallus automatisoidusti. 2 kpl kerrallaan ja puhalluksen jälkeen tulppauksen kuvaus konenäöllä
10. robotti siirtää kappaleet puhalluspaletista rullaradalle
11. siirto viimeistelypaikalle

- 11.1. puhalluskuulien poistaminen paineilmalla, varren ja kannen irrottaminen toisistaan ja siirto viimeistely paikalle
- 11.2. lenkin paksuuden tarkistaminen tulkilla
- 11.3. varmistetaan leikkauskohdan paikka asettamalla hammastukset symmetrisesti

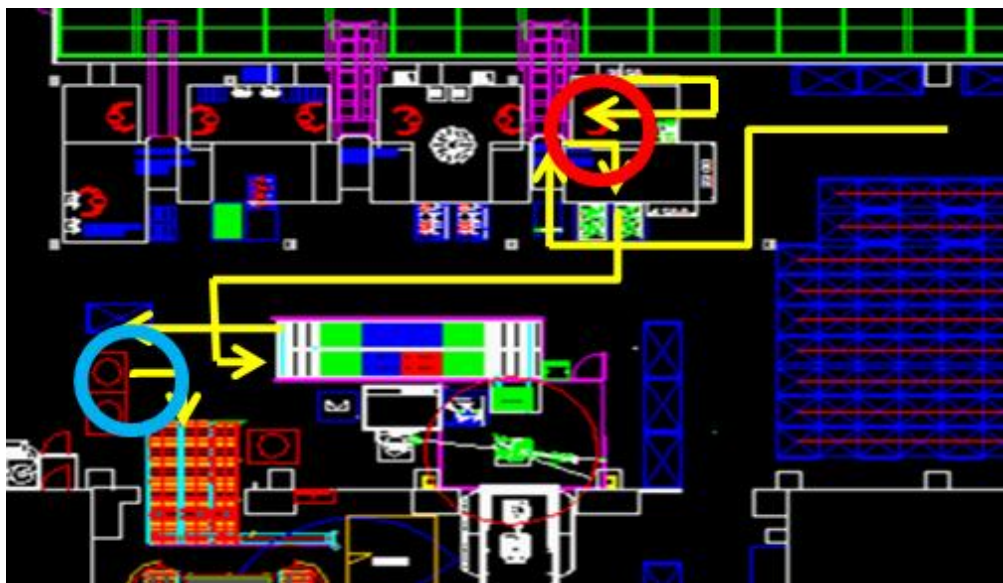
12. siirto laatikoihin rullaradalle kohti säröntarkastusta.

8.1.3 Manuaalinen jäysteenpoisto

Tuotannon järjeistämiseksi kiertokankiverstaalla toteutetaan nykyisen jäysteenpoistopaikan nosto samaan tasoon reunimmaisen latausaseman kanssa. Tämä layout-muutos helpottaa ja nopeuttaa välijäysteenpoistoa. Tästä latausasemasta ja jäysteenpoistopaikasta käytetään myös työnimeä elintasoerkkeri. Nostamalla työskentelytaso ylemmäksi työ saadaan fyysisesti lähemmäksi latauskuutiota ja myös samalle tasolle kuutiolla tapahtuvaa työskentelyä silmällä pitäen. Tällä tavoin jäysteenpoistotoiminta nivoutuu työtehtävänäkin enemmän muihin tehtäviin eikä jäysteenpoistopaikka jää sivuun muusta työyhteisöstä. Tällä uudella jäysteenpoistopaikalla tullaan suorittamaan myös kiertokangen varren ja kannen kiinnittäminen ja kiinnivedon purkaminen hydraulisesti. Tässä jäysteenpoistopaikassa toteutetaan myös öljykanavan pyöristysten teko ja tulppaus ja tarvittaessa kiinnivetopultin reiän pohjan hionta.

8.1.4 Viimeistelypaikka

Jotta materiaalin virtaus saadaan mahdollisimman sujuvaksi, niin robottisolusta poistuessaan kiertokangen tulee olla mahdollisimman viimeistelty. Tämän vuoksi nykyinen loppu jäysteenpoistopaikka muutetaan viimeistelypaikaksi (**kuva 41.**). Tässä viimeisessä työvaiheessa, kiertokangelle ei tarvitse enää tehdä jäysteenpoistotyötä. Viimeistelypaikalla puretaan kiinniveto, poistetaan tulppaus, kiertokanki puhalletaan puhtaaksi kuulapuhalluskuulista ja suoritetaan silmämääräinen loppu-tarkastus. Tämän jälkeen kiertokanki on valmis siirrettäväksi rullaradalle odottamaan säröntarkastusta.



Kuva 41. Viimeistelypaikka merkitty sinisellä – ja uusi jäysteenpoistopaikka punaisella ympyrällä.

8.2 Robottisolu

8.2.1 Kapasiteetti

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää laskennallisesti käyttöasteet robottisolun toiminnasta kolmella eri tuotantoskenaariolla. Laskelmista käy ilmi, että robottisolu kykenee ajallisesti suoriutumaan esitetyistä valmistusmääristä sekä W20–, että W32-kiertokankien osalta.

Robottisolun toiminta-aika muodostuu kiertokangen jäysteenpoistosta ja kuulapuhalluksesta. Tämä aika menee robottisolun työkierrossa päällekkäin. Robottisolussa työkierto alkaa kiertokangen siirtämisellä jäysteenpoistoon ja viimeinen vaihe on kiertokangen kuulapuhallus. Tämän lisäksi jokaisen kuuden kiertokangen täydellisen työkierron jälkeen robottisolu suorittaa vielä yhden kiertokangen jäysteenpoiston ja siirtää jäyستetyn kiertokangen puskuriasemaan odottamaan seuraavan kokonaisen työkierron alkamista. Kiertokangen vaiheaikaa solussa tulee siis tarkastella sen mukaan onko puskuriasema käytössä vai ei. W20-kiertokangen jäysteenpoistoon jää laskennallisesti aikaa suurimmilla esitetyillä tuotantomäärillä ----- tuntia / kpl. Eri skenaarioilla lasketut robottisoluajat ovat taulukossa 7.

Taulukko 7. W20–kiertokangen käsittelyyn jäävä aika eri tuotantomäärillä.

W20	KPL	h / KPL
Minimum		
Average		
Maximum		

W20–kiertokangen jäysteenpoiston kestoa kyettiin myös arvioimaan testiohjelman avulla. Tämä aika on suuntaa antava, mutta sitä voidaan pitää riittävän tarkkana arvioitaessa robotisoidun jäysteenpoiston mahdollisuuksia. Verrattaessa aikaa W32–kiertokankien eri osien jäysteenpoiston kestoon huomataan, että yhden W20–kiertokangen jäysteenpoistoon jäävä noin --- tunnin mittainen aika tulee riittämään jäysteenpoiston suorittamiseen.

Laskettaessa robottisolussa tapahtuvaa W20–kiertokangen jäysteenpoistoon kuluva-aikaa, kuulapuhallusaikaa ja käsittelyrobotin toimintaan kuluva-aikaa, on päästy karkeaan arvioon W20–kiertokangen jäysteenpoiston kestosta. Arvion mukaan yksi kiertokanki on robottisolussa ----- tuntia. Tämä aika alkaa kun käsittelyrobotti aloittaa työkiertonsa poimiakseen kiertokangen kuljetuspaletista ja päättyy kun käsittelyrobotti palauttaa kiertokangen kuljetuspalettiin. Robottisolussa on kuitenkin käytössä puskuriasema, joka mahdollistaa työvaiheiden, kuten kuulapuhalluksen ja jäysteenpoiston suorittamisen yhtäaikaaisesti. Lisäksi robottisolussa työestetään kokoajan kahta kiertokankea rinnakkain. Tämä vaikuttaa mm. kuulapuhallusajan puolittamiseen laskennallisesti.

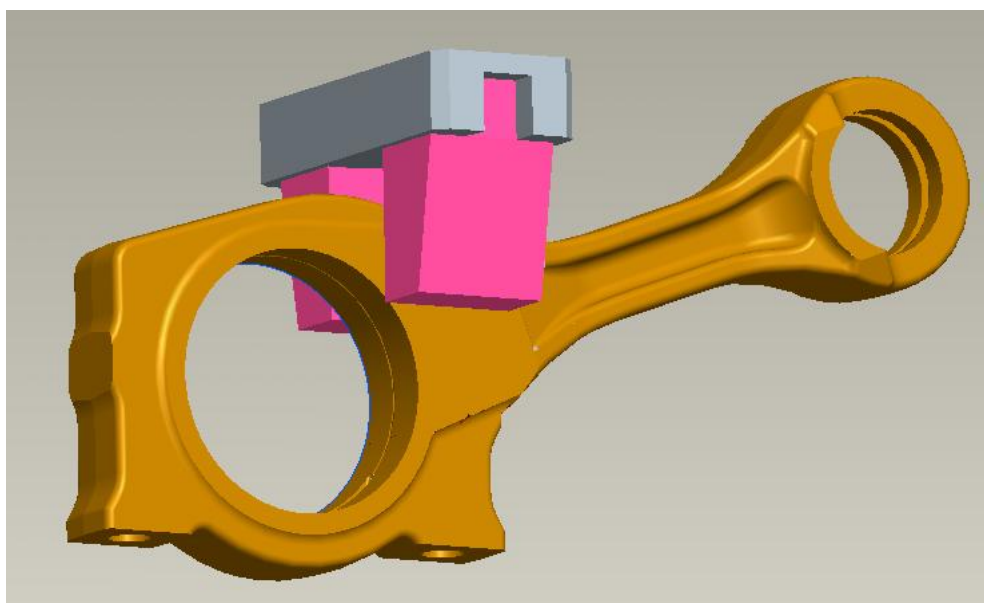
Mietittäessä robottisolun toimintaa kokonaisuutena, tulee huomio kiinnittää tahti-aikaan, joka ilmaisee kuinka usein valmiita kiertokankia robottisolusta valmistuu. Arvion mukaan W20–kiertokangen robottisolussa vaatima tahti-aika on noin ----- tuntia / 2 kiertokankea. Kuuden kappaleen paletti valmistuu robottisolusta ----- tunnissa. Tästä voidaan laskea, että yhden W20–kiertokangen tahti-aika robottisolussa on ----- tuntia. Tämä on selvästi alle tavoitteen, joka on ----- tuntia. Esitetyt arviot perustuvat jäysteenpoisto-ohjelman testaukseen, tiedossa oleviin käsitte-

lyrobotin toiminta-aikoihin, tiedossa olevaan kuulapuhalluksen kestoon ja näistä ajoista luotuun vaihe aikakaavioon (LIITE 2).

8.2.2 Tarttuja

Kiertokangen tartuntaa päätettiin lähestyä kuvan 42 mukaisesti. Tartuntapaikkana kiertokangessa on koneistetut ”poskipinnat”. Näin tartunta saadaan sekä lähelle painopistettä, että myös koneistetulle pinnalle jolloin tartunnan mittavirheistä päästään eroon.

Tarttujan runko on jo olemassa kiertokankiverstaalla ja se on modifioitavissa W20-kiertokangen käsittelyyn. Tarttujaan suunnitellaan ja valmistetaan uudet leuat ja anturoinnit. Olemassa oleva runko säästää kustannuksia ja mahdollistaa tarttujan leukojen suunnittelun aloittamisen välittömästi sen vaikuttamatta tuotantoon.

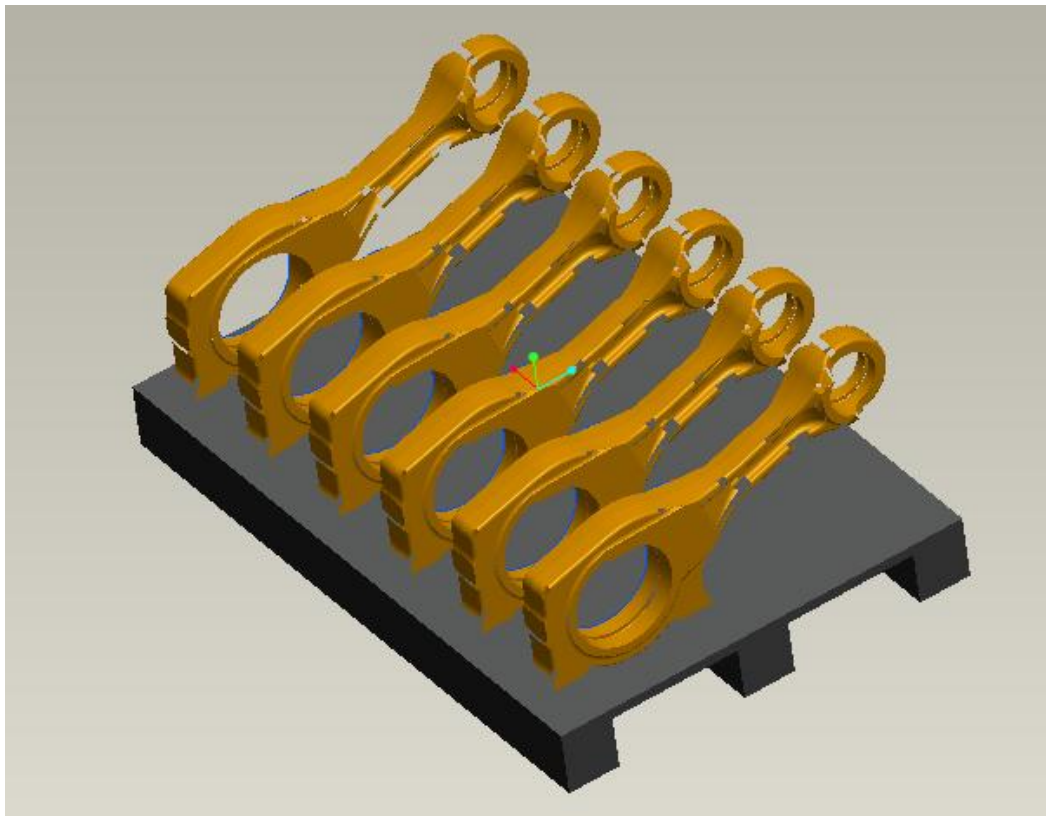


Kuva 42. Periaatekuva tartunnan toteuttamisesta.

8.2.3 Kuljetuspaletti

Kuljetuspaletin suunnittelussa voidaan hyödyntää kokemuksia nykyään käytössä olevista W32-kiertokangen osien kuljetuspaleteista. Kuljetuspaletin kriteereinä on, että niitä kyetään siirtämään pinoamislaitteella ja pumppukärriillä, niihin on liitettävissä RFID-tunniste robotin työkiertojen ohjaamiseksi, yhteensopivuus robotisoluun menevään kuljetuslinjastoon ja se, että niissä kyetään kuljettamaan riittävä määrä W20-kiertokankia oikeassa orientaatioissa siten, että kiertokangat ovat poimittavissa ja ladottavissa kuljetuspalettiin robotilla.

Koska moottorien tuotantomäärät ovat viimeaikoina olleet kasvussa, myös kuljetuspalettien suunnittelussa tulee katsoa pidemmälle tulevaisuuteen. Tämän vuoksi kuljetuspalettiin suunnitellaan optio 10 kiertokangelle. Käytännössä kuljetuspaletille suunniteltavien kiertokankien määrä tulee aloitusvaiheessa olemaan optimaalisen virtaukseen mukaisesti kuusi kiertokankea (**kuva 43.**).



Kuva 43. Esimerkki kiertokankien asettelusta kuljetuslavalle.

8.2.4 Robottisolun jäysteenpoistopaikka

Jäysteenpoistopaikkana toimii nykyinen robottisolun jäysteenpoistopaikka. Jäysteenpoistopaikka on pyörivän pöydän päällä ja nykyisten jäysteenpoistopaikkojen ohella tähän pyöröpöytään suunnitellaan paikoituspisteet kahdelle W20-kiertokangelle.

Kiertokangen sijoittaminen jäysteenpoistopaikalle toteutetaan sijoittamalla kanki lappeelleen. Tämä vaihtoehto mahdollistaa kiertokangen paikoittamisen ylä – ja alapään silmukoiden sekä koneistetun ”poskipinnan” avulla. Kiertokanki paikoitetaan ohjausnastojen avulla ja pysyy paikallaan painovoiman avulla. Tässä asennossa kiertokankea pääsee lähestymään yläpuolelta vapaasti eikä kangen paikalla pitämiseksi tarvitse käyttää mitään lukitsevaa kiinnitystä. Koska kankea voidaan lähestyä vain yhdeltä suunnalta, tulee kiertokanki kääntää kerran jäysteenpoiston aikana, jotta saadaan jäystettyä kiertokanki molemmin puolin. Etuna tässä asiassa on, että robottiohjelmaa voidaan käyttää pääpiirteissään samanlaisena molemmin puolin kankea.

8.2.5 Konenäkö

Nykyisellään tulppauksen suorittaminen varmistetaan silmämääräisellä tarkistuksella. Kun tulppaus tarkistetaan robottisolussa konenäöllä, voidaan varmistua siitä, että kuulapuhalluslaitteeseen ei pääse kiertokankia ilman öljykanavien tulppausta. Konenäöllä varmistetaan tulppauksen pysyvyys myös kuulapuhalluksen jälkeen. Näin tuotannosta saadaan tieto siitä, missä vaiheessa tulppaus on irronnut. Tai saadaan tieto ainakin siitä, onko tulppaus irronnut juuri kriittisessä vaiheessa kiertokangen valmistusta vai jossain muussa vähemmän kriittisessä vaiheessa. Tästä on hyötyä edelleen kehitettäessä kiertokangen valmistusmenetelmiä.

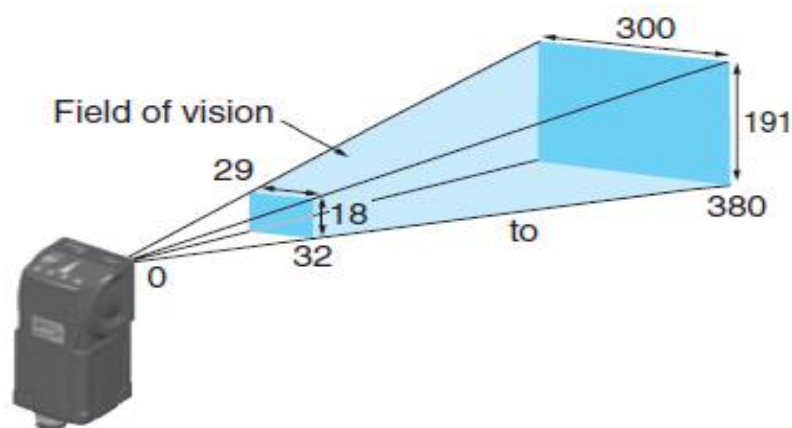
Wärtsilän Vaasan toimitusyksiköllä on jo aiempaa kokemusta konenäön sovelluksista robottisolussa. Tätä kokemusta ja tietotaitoa hyödynnetään myös tässä kehitystyössä. Tulppauksen varmistamiseksi hankitaan konenäkösovellus Omronilta. Parhaiten työhön sopiva malli on lyhyen matkan kuvauksen mahdollistava sovel-

lus FQ-S25100N, Standard Models, PNP. Konenäön kuvausetaisyys on 32–380 mm ja kuvausalue lähimmällä etäisyydellä 29 x 18 mm (**taulukko 8.** ja **kuva 44.**).

Konenäkösovellus toteutetaan sijoittamalla näköjärjestelmä soluun kiinteästi ja käsittelyrobotti käyttää kuvattavan kappaleen näköjärjestelmän kuvausalueella. Näin kuvaustoiminto saadaan suoritettua siirtoliikkeiden aikana käsittelyrobotin siirtäessä kiertokankia vaiheesta toiseen.

Taulukko 8. Konenäkösovelluksen tietoja, punaisella erotettu valittu sovellus. /16/.

Standard models		Field of view (See note) (Horizontal × Vertical)	Installation distance	Weight
NPN	PNP			
FQ-S20010F	FQ-S25010F	7.5 × 4.7 to 13 × 8.2 mm	38 to 60 mm	Approx. 160 g
FQ-S20050F	FQ-S25050F	13 × 8.2 to 53 × 33 mm	56 to 215 mm	Approx. 160 g
FQ-S20100F	FQ-S25100F	53 × 33 to 240 × 153 mm	Long-distance model: 220 to 970 mm	Approx. 150 g
FQ-S20100N	FQ-S25100N	29 × 18 to 300 × 191 mm	Short-distance model: 32 to 380 mm	Approx. 150 g



Kuva 44. Kuva konenäön kuvausalueesta. /16/.

8.2.6 Tulppaus

Tulppauksen onnistumisesta on oltava täysi varmuus. Kokemuksia puhalluskuulien joutumisesta kiinnivetotappien kierteisiin ei ole paljon, mutta kuten insinööri-työn aikana suoritetuissa testauksissa on ilmennyt niin seuraukset tästä voivat olla kohtalokkaita. Tulppaus on nykyisellään suoritettu käsin ja tulppauksen tarkistus on suoritettu silmämääräisesti. Kun mietitään tulppauksen pysyvyyttä ja toimivuutta ei siis voida varmuudella sanoa, onko nykyinen tulppaus riittävä vai onko tulppauksen suorittamisessa ja tulppauksen pysyvyyden tarkistamisessa puutteita.

Kun tulppaukseen käytettävien kumitulppien mittatarkkuuksia kiristetään ja käytetyistä tulpista hävitetään kuluneet tulpat, niin voi hyvinkin olla, että tulppaus onnistuu myös nykyisillä menetelmillä. Tämä vaatii kuitenkin edelleen seurantaa. Toisaalta kun uudessa menetelmässä tulppauksen suorittaminen varmistetaan konenäöllä, niin inhimillisen virheen, unohduksen osuus jää pois. Näin saamme eliminoidua yhden riskitekijän valmistusketjusta.

Aloitusvaiheessa tulppaus on suunniteltu toteutettavaksi käsityönä ja tulppauksen toteutuksen varmistus suoritetaan konenäöllä ennen kappaleen päästämistä kuulapuhalluslaitteeseen. Toisaalta tulppaus on syytä tarkistaa myös välittömästi kuulapuhalluksen jälkeen, jotta mahdollinen puhalluskuulien vioittama kappale saadaan pois tuotannosta. Puhalluksen jälkeisellä tarkistuksella voidaan myös pois sulkea mahdollisuus, että tulppaus olisi purkautunut vasta kuulapuhalluksen jälkeen. Tämä tieto auttaa jatkossa ymmärtämään kappaleen automatisoinnista kerättäviä tietoja.

8.2.7 Kuulapuhallus

Kuten todettua, kuulapuhallus suoritetaan kaikille kiertokangille halutun pinnan-
karheuden saavuttamiseksi. Kuulapuhallus on täten myös kriittinen toimenpide kiertokangen valmistuksessa ja voidaankin puhua mahdollisesta pullonkaulasta, mikäli toimilaite rikkoutuu. Puhalluspaletti suunnitellaan siten, että sen lataaminen on toteutettavissa robotilla. Tässä on huomioitava sekä robotin, että robotin

työkalun mukanaan tuomat rajoitteet. Lisäksi kuulapuhalluslaitteen on edelleen toimittava myös W32–kiertokangille kuten tähänkin asti.

Huomioitava on myös ympärivuorokauden jatkuva tuotanto, joka ei kuulapuhalluslaitteen kriittisestä tarpeesta johtuen salli seisokkeja. Eli ylimääräisille testauksille ei ole aikaa. Kuulapuhalluslaitteen toiminnan modifioimiseen ei alkuvaiheessa ole tarvetta suorittaa muutoksia. Ajallisesti puhalluslaite tulee suoriutumaan tehtävästään riittävällä nopeudella -- minuuttia / -- W20–kiertokankea. Kuulapuhalluskoneen ja puhalluspaletin tarkastelu on kuitenkin suoritettu siten, että tarvittaessa kuulapuhallusohjelmaa muuttamalla sen toimintaa voidaan myös nopeuttaa.

8.2.8 Jäysteenpoistotyökalut

Kiertokankiverstaan robottisolussa olevalla koneviilatyökalulla tehtyjen törmäystarkasteluiden jälkeen oli selvää, että jäysteenpoistotyöstä ei selvitä nykyisellä työkaluarsenaalilla. Uudesta koneviilasta on tehty tarjouspyyntöjä ja sellainen tullaan hankkimaan robottisoluun. Kuvassa 45 paineilmatoiminen Schunk FBD660–koneviila josta on tehty tarjouspyyntö.



Kuva 45. Koneviila. /17/.

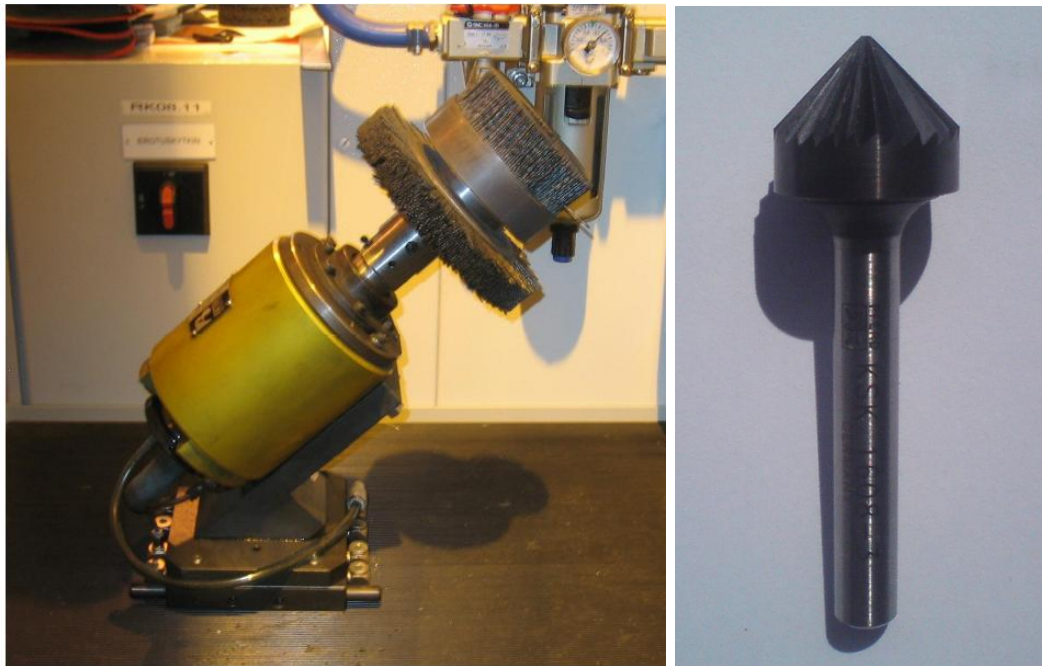
Robotin ranteeseen kiinnitettävän paineilmatoimisen koneviilan lisäksi huomiota tulee kiinnittää myös koneviilan kiinnitykseen. Nykyinen robottisolussa oleva koneviila on kiinni välilaipassa 45-asteen kulmassa. Uusi koneviila kiinnitetään 90-asteen kulmaan suhteessa työkalulaippaan. Käytännössä koneviila on suorassa ja tämä mahdollistaa osaltaan helpomman lähestymisen kappaleeseen suoraan ylhäältäpäin.

Paineilmatoimiseen koneviilaan hankitaan myös uusi koneviilaterä. Uudella terällä (**kuva 46.**) lähestyminen saadaan optimaaliseksi ja sillä kyetään poistamaan jäysteet mm. yläpään silmukan öljyurasta. Tästä koneviilaterästä on kertynyt runsaasti käytännön kokemusta käsin tehdyssä jäysteenpoistotyössä.



Kuva 46. Uusi koneviilaterä

Muut W20-kiertokangen jäysteenpoistossa tarvittavat työkalut ovat robottisolussa olevat taso – ja radiaaliharja, sekä Flexicut 250-koneviila 90-asteen teräkulmalla (**kuva 47.**). Tasoharjan radiaaliosalla poistetaan jäysteet liukulaakerin kiinnityksen vaatimasta lukkourasta. Tasoharjalla poistetaan jäysteet kiertokangen poskipinnoista ja 90-asteen kulmassa olevaa koneviilaterää käytetään silmukoiden jäysteenpoistoon.



Kuva 47. Jäysteenpoistossa tarvittavia työkaluja.

8.3 Ohjelmointi

8.3.1 Robottisolun työkierto

Robottisolun työkierto rakentuu kolmen eri toimilaitteen ohjauksesta. Nämä toimilaitteet ovat käsittelyrobotti, jäysteenpoistorobotti ja kuulapuhalluskone. Jokaisen laitteen toiminta on ohjelmoitava erikseen ja kuitenkin toimimaan yhdessä.

Opinnäytetyössä on keskitytty jäysteenpoisto-ohjelman rakenteeseen ja sen luomiseen. Taulukossa 9 on esitetty W20-kiertokangen jäysteenpoisto-ohjelman työkierto. Työkierron eteneminen on toteutettu siten, että jäysteenpoisto-ohjelman pääohjelma (main) kutsuu haluttuja työkalunvaihtoja ja aliohjelmiä joilla varsinainen jäysteenpoistotyö suoritetaan.

Taulukko 9. Työkierto.

OPETETAAN REFERENSSIPISTE P[1]

MAIN	(Pääohjelma)
CALL	(kutsuu aliohjelman parametreilla)
TOOL_90	(aliohjelma joka kutsuu tk-vaihdon)
ARC_1	(aliohjelma kaariliikkeelle)
ARC_2	-
ARC_3	-
ARC_2	(muutetaan kulma)
ARC_3	(muutetaan kulma)
CIRCLE_2	(aliohjelma ympyräliikkeelle)
CIRCLE_2	(muutetaan kulma)
TOOL_30	(aliohjelma joka kutsuu tk-vaihdon)
CIRCLE_3	(aliohjelma öljyuralle)
URA_1	(aliohjelma paksulle öljyuralle)
CIRCEL_4	(aliohjelma tk orientaatio muuttuu)
CIRCEL_4	(muutetaan kulma)
CIRCEL_4	(tk orientaatio muuttuu)
CIRCEL_4	(muutetaan kulma)
CIRCLE_2	
TASOHARJA	(aliohjelma joka kutsuu tk-vaihdon)
HARJAUS_1	(aliohjelma poskipintojen harjaus)

8.3.2 Jäysteenpoisto-ohjelma

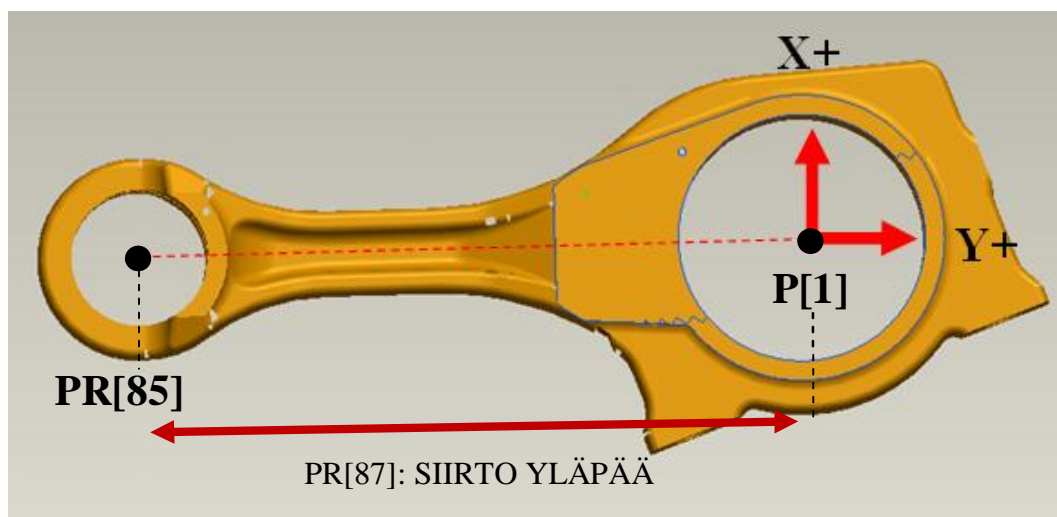
Ohjelmointi suoritettiin Vaasan ammattikorkeakoulun tiloissa Technobotnialla. Ohjelmoinnin testaamisessa keskityttiin jäysteenpoisto-ohjelman luomiseen. Ohjelma rakennettiin mahdollisimman pitkälle parametrisoiduksi ja suunniteltiin alusta asti sellaiseksi, että kaikki mahdolliset muutokset olisivat helppo suorittaa.

Käsittelyrobotin ohjelma tullaan tekemään vasta robottisolussa kiertokankiversaalla. Käsittelyrobotin toimintaa ei kyetty simuloimaan ammattikorkeakoulun tiloissa puutteellinen testiympäristön vuoksi. Toisaalta käsittelyrobotin toiminta W20-kiertokangen siirtelyssä vastaa toimintaa käsiteltäessä W32-kiertokangen

osia ja varsinaista suunnittelua eikä törmäystarkastelua ei ole tarpeen suorittaa uudelleen.

Jäysteenpoisto-ohjelma rakentuu kappaleen mukaan luotavaan user frame-koordinaatiston ja siihen opetettavan yhden pisteen $P[1]$ arvojen muuttujina. Kaikki ohjelmassa toteutettavat liikekäskyt suoritetaan siirtyminä (offset-arvoina) suhteessa opetettuun pisteeseen $P[1]$. Nämä offset-pisteet saavat jäysteenpoisto-ohjelman aikana uusia arvoja eri muuttujien mukaan. Robotin konfiguraatiota muutettaessa offset-arvot lisätään aina opetetun pisteen $P[1]$ alkuperäiseen konfiguraatioon. Tämän vuoksi piste $P[1]$ muutetaan myös paikkarekisteritiedoksi $PR[79]$ opetettu piste. Näin alkuperäinen pistetieto pysyy aina pisteen $P[1]$ mukana ja sitä voidaan käyttää ”nollaamaan” aloituspisteen arvot.

Kuvassa 48 on esimerkki kuinka jäysteenpoisto-ohjelman paikkarekistereille annetaan uusia arvoja. Esimerkissä $PR[85]$ ympyrän keskipiste, saa arvon kun pisteeseen $P[1]$ lisätään offset-arvo $PR[87]$ siirto yläpää. Lisättävässä offset-arvossa annetaan uusi arvo koordinaatiston Y-suunnalle, X-suunnan arvoa ei tässä esimerkissä tarvitse muuttaa. Näin ympyrän keskipistettä $PR[85]$ ei tarvitse opettaa koordinaatistoon vaan se määräytyy pisteen $P[1]$ mukaan.



Kuva 48. Esimerkki offset-arvoista.

Taulukossa 10 on esitetty jäysteenpoisto-ohjelman aliohjelma, jolla poistetaan jäysteet kiertokangen ylä – ja alapään silmukoista ympyräliikkeen avulla. Esimerkistä ilmenee kuinka paikkarekistereille [PR] annetaan uusia arvoja. Nämä paikkarekistereille annettavat arvot, parametrit, määritetään robottiohjelman pääohjelmassa. Jäysteenpoisto-ohjelman koko versio on luovutettu kiertokankiverstaalle (LIITE 3.).

Taulukko 10. Esimerkki jäysteenpoisto-ohjelmasta.

- 1: !KANKI LAPPEELLAAN ;
- 2: ! TK HALUTUSSA KULMASSA ;
- 3: ;
- 4: !SADE SAA ARVOT ;
- 5: PR[81,2:Y+]=R[152:SADE]*1 ;
- 6: PR[82,2:Y-]=R[152:SADE]*(-1) ;
- 7: PR[83,1:X+]=R[152:SADE]*1 ;
- 8: PR[84,1:X-]=R[152:SADE]*(-1) ;
- 9: ;
- 10: !Z SYVYYYS SAA ARVOT ;
- 11: PR[81,3:Y+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
- 12: PR[82,3:Y-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
- 13: PR[83,3:X+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
- 14: PR[84,3:X-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
- 15: ;
- 16: !TK KULMA SAA ARVOT ;
- 17: PR[81,4:Y+]=R[153:TK-KULMA]*(-1) ;
- 18: PR[81,5:Y+]=R[153:TK-KULMA]*(-1) ;
- 19: PR[82,4:Y-]=R[153:TK-KULMA]*1 ;
- 20: PR[82,5:Y-]=R[153:TK-KULMA]*1 ;
- 21: PR[83,4:X+]=R[153:TK-KULMA]*(-1) ;
- 22: PR[83,5:X+]=R[153:TK-KULMA]*1 ;
- 23: PR[84,4:X-]=R[153:TK-KULMA]*1 ;
- 24: PR[84,5:X-]=R[153:TK-KULMA]*(-1) ;

29: ;
 30: !OHJELMA ALKAA ;
 32: ;
 33: !LAHESTYMIS ARVOT ;
 34: PR[81,2:Y+]=PR[81,2:Y+]-40 ;
 35: PR[82,2:Y-]=PR[82,2:Y-]+1.5 ;
 36: PR[83,1:X+]=PR[83,1:X+]-.5 ;
 37: PR[84,1:X-]=PR[84,1:X-]+10 ;
 40: ;
 41:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT100 Offset,PR[81:Y+] ;
 42:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT85 Offset,PR[84:X-] ;
 43:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[82:Y-]
 : PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[83:X+] ;
 45: ;
 46: LBL[1] ;
 47: !JAYSTEEN POISTO ;
 48: PR[81,2:Y+]=R[152:SADE]*1 ;
 49: PR[82,2:Y-]=R[152:SADE]*(-1) ;
 50: PR[83,1:X+]=R[152:SADE]*1 ;
 51: PR[84,1:X-]=R[152:SADE]*(-1) ;
 52:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[81:Y+]
 : PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[84:X-] ;
 53:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[82:Y-]
 : PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[83:X+] ;
 54: R[150:LASKURI]=R[150:LASKURI]+1 ;
 55: IF R[150:LASKURI]<R[154:TOISTOJEN MAARA],JMP LBL[1] ;
 56: ;
 57: !POISTUMIS ARVOT ;
 58: PR[82,2:Y-]=PR[82,2:Y-]+6 ;
 59: PR[83,1:X+]=PR[83,1:X+]-12 ;
 60: PR[84,1:X-]=PR[84,1:X-]+3 ;
 61: ;
 62: !POISTUMINEN ;
 63:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[81:Y+]

```

: PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[84:X-] ;
64:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[82:Y-]
: PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[83:X+] ;
65: PR[81,2:Y+]=PR[81,2:Y+]-20 ;
66:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT100 Offset,PR[81:Y+] ;
67: ;
68: !NOLLATAAN PR JA R ;
69: PR[81:Y+]=PR[86:PR_NOLLAUS] ;
70: PR[81:Y+]=PR[86:PR_NOLLAUS] ;
71: PR[81:Y+]=PR[86:PR_NOLLAUS] ;
72: PR[81:Y+]=PR[86:PR_NOLLAUS] ;
73: R[150:LASKURI]=0 ;
74: R[151:Z-SIIRTO]=0 ;
75: R[152:SADE]=0 ;
76: R[153:TK-KULMA]=0 ;
77: R[154:TOISTOJEN MAARA ]=0 ;
78: R[155:KYSELY]=0 ;
/POS
/END

```

8.4 Investoinnit

Robottisolun toiminta ei kehity ilman investointeja. Tuotannon nykyaikaistaminen ja automatisoiminen tuottaa aina investointitarpeita. Riittävän perusteellisen esiselvitystyön jälkeen voidaan investointitarpeiden perusteella laskea takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaikalaskelman avulla yrityksessä voidaan tehdä päätöksiä investointien tarpeellisuudesta ja investointien tuomia hyötyjä voidaan verrata investointien riskeihin.

W20-kiertokangen jäysteenpoiston kehittäminen vaatii investointeja, mutta se tuo myös mukanaan säästöjä henkilötyövuosien vähenemisen muodossa. Jäysteenpoiston automatisoinnilla on myös rahassa mittaamaton vaikutus työn laadun paranemiseen. Tuotannon automatisointi ja sen kehittäminen tuottaa aina tasaisempaa laatua. Lisäksi raskas ja yksitoikkoinen työtehtävä saadaan siirrettyä pois

ammattitaitoiselta henkilökunnalta ja heidän erityisosaamistaan voidaan käyttää muissa tehtävissä. Kehitystyön kustannusarvio on esitetty alla (**taulukko 11.**).

Taulukko 11. Jäysteenpoiston kehitystyön kustannusarvio.

INVESTOINNIT		
Uusi koneviilatyökalu		
Tarraimen modifiointi		
Jäysteenpoistojigi		
Konenäköanturi ja ohjaus		
Elintasoerkkeri (latausaseman muutos)		
Kuljetuspaletti		
Kuulapuhalluspaletti		
Ohjelmointiapu		
Muut (tulppaus, hydrauliiikan siirto, yms.)		
YHTEENSÄ		

Robotisoidun jäysteenpoiston kehittämisen kustannusarvio on ----- e. Vastaavasti säästöjä henkilötövuosien vähenemisen myötä syntyy ---- henkilötövuoden verran eli -----e/ vuosi (-- x ----- e x -----).

Laskelmien tueksi esitetään myös takaisinmaksulaskelma (LIITE 4.). Takaisinmaksulaskelman mukainen takaisinmaksuaika robottisolun investoinneille on -- vuotta.

9 PARANNUKSIA TULEVAISUUDESSA

9.1 Koneistaminen

W20-moottorien tuotannon jatkuminen Wärtsilän Vaasan Toimitusyksikössä (DCV) on lamavuosien aikana ollut uhattuna. Moottorien tilauskanta on kuitenkin kasvussa kyseisen moottorityypin kohdalla. Tuotannon elpymisen myötä myös W20-kiertokankien koneistusmenetelmiä tulisi kehittää ja mahdollisesti uudistaa. Tämä tarkoittaa investoimista uusiin työkaluihin ja koneistamiseen liittyvien tukitoimien kehittämistä. Uusien menetelmien myötä myös jälkityössä käytettyä aikaa saataisiin vähennettyä. Tähän liittyen on jo käynnissä uusien työkalujen testausta ja koneistusohjelmien uudelleen tarkastelua.

9.2 Robottisolu

Robottisolun toiminnan kehittäminen vaatii jatkuvaa panostusta. Jäysteenpoisto on toimenpiteenä paljon käytetty työmenetelmä myös automatisoituna. Jäysteenpoiston toteuttamiseksi robotilla on tarjolla uusia työkaluja. Näistä mainittakoon mm. voimaohjaus, joka mahdollistaa entistä paremmin tasaisen materiaalin poiston robotilla. Yksinkertaistettuna voimaohjaus tarkoittaa työkalua, jolla yhdessä robotin ohjauksen kanssa saadaan toteutettua tarkasti kappaleen pintaa pitkin kulkeva työstörata. Yleensä paineilmalla ohjattu joustoliike on voimaohjauksessa korvattu voima-anturilla ja takaisinkytkennällä. Voimaohjaukseen säädetään haluttu ”paine”, jolla työkalua halutaan painaa kappaleen pintaa vasten. Robotin liikettä korjataan voima-anturin antaman tiedon perusteella ja vakioaine säilyy riippumatta siitä, missä työstettävä pinta kulkee. Tämä mahdollistaa tietyn toleranssin sisällä tapahtuvat muutokset työstettävän kappaleen mitoissa. Näin ohjelmaa ei tarvitse luoda kaikilta osin niin tarkaksi vaan työkalu ”keskustelee” yhdessä robotin ohjausjärjestelmän kanssa tuottaen halutunlaisen lopputuloksen.

Toinen nykyaikainen menetelmä on offline-ohjelmointi 3 D-mallien avulla. Tässä menetelmässä robotin ohjelmointi voidaan suorittaa PC-tietokoneelle luodussa virtuaaliympäristössä. Ohjelmistot ovat kehittyneet edelleen viime vuosina ja tulleet tämän myötä myös käyttäjäystävällisemmiksi. Offline-ohjelmointi mahdollis-

taa robottiohjelman tekemisen keskeyttämättä tuotantoa. Ajatus ohjelmointimal-
lissa on, että robotin ohjaus saadaan opetettua tekemään liikekäskyjä suoraan 3 D-
mallin piirteiden mukaisesti. Malliympäristössä voidaan suorittaa myös törmäys-
tarkastelut ja suunnitella näin uusia menetelmiä. Järjestelmä vaatii toimiakseen
ohjelmistoja, joten tämäkin vaihtoehto tarvitsee lisäinvestointeja.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA ARVIOINTI

10.1 Luotettavuus

W20–kiertokangen jäysteenpoiston siirtäminen kiertokankiverstaan robottisoluun on opinnäytetyössäni todistettu mahdolliseksi. Opinnäytetyön tueksi perustettu ohjausryhmä ja sen jäsenten aktiivisuus omalla panoksellaan, vahvistaa yleistä luottamusta työn tulokseen. Opinnäytetyön aikana tehtyjä mittauksia ja testauksia on tehty todellisessa tuotantoympäristössä tai sitä vastaavissa tiloissa ja ympäristössä.

10.2 Käyttökelpoisuus

Opinnäytetyön käyttökelpoisuutta arvioitaessa tulee katsoa kauemmaksi tulevaisuuteen. Tuotannollisen kilpailun kiristyessä työtehtävien automatisoimisesta olisi hyvä tehdä edes alustava kartoitus ja esiselvitys katsomatta konepajan kokoon tai liikevaihtoon. Etenkin robottien käyttäminen tuotannossa on muuttunut aiempaa edullisemmaksi sekä joustavammaksi ja pienetkin yrityksen voivat hyötyä toimintojensa automatisoinnista.

Kiertokankiverstaalla on jo entuudestaan kertynyt kokemuksia robottisolun toiminnasta, sen eduista ja mahdollisista ongelmakohdista. Tätä tietotaitoa kyettiin hyödyntämään myös tässä opinnäytetyössä. W20–kiertokangen jäysteenpoiston siirtäminen robottisolulle on selkeästi ollut koko henkilöstön toive. Sen lisäksi, että opinnäytetyössä selvitettiin jäysteenpoiston kehittämismahdollisuuksia, opinnäytetyössä kehitettiin myös konkreettisia keinoja toteuttaa jäysteenpoisto robottisolussa.

10.3 Arviointia

Ensimmäisessä tapaamisessa kiertokankiverstaan esimiesten kanssa sain suorittaa ”saksitestin”, jolla selvitettiin hakijan soveltuvuutta tarjolla olevaan työhön. Testin tulos ei täysin selvinnyt, mutta ilmeisesti suoriuduin siitä riittävän hyvin, koska opinnäytetyö on nyt saatettu valmiiksi ja tuki kaikilta työhön osallistuneilta tahoilta on ollut erinomaista.

Työn tulos vastaa sille asetettuja tavoitteita. Ainoastaan haastavaksi koettu hammasjäystön siirtäminen robotille jäi edelleen suorittamatta. Tähän ei ollut syynä niinkään puutteelliset keinot tai menetelmät, vaan materiaalivirran vaatima työskentelyjärjestys. Tämä ei sinällään ole miinus työn tuloksissa, vaan lähinnä kaukusvirhe, jonka asiaan enemmän perehtyneet huomaavat.

Työn tekeminen oli alusta asti haastavaa. Opinnäytetyön edetessä tehtävät ovat jakaantuneet tasaisesti kirjallisen osion ja käytännön tekemisen osalta. Työ on kuitenkin edennyt suunnitellun aikataulun mukaisesti ja välitavoitteista on pidetty kiinni. Työssä on ollut oikeasti ja aidosti tekemisen meininki ja tuloksia on haluttu myös käyttää todellisuudessa.

Opinnäytetyön tekeminen on oppimisprosessi, kuten muutkin opintomäärään sisällytetyt opintojaksot. Tässä valossa ajateltuna saatan vain todeta, että monta asiaa olisin voinut tehdä tehokkaamminkin. Tämän tosiseikan tiedän nyt, mutta en tiennyt silloin kun opinnäytetyötäni aloitin. Voin siis rehellisesti sanoa, että opinnäytetyön tekeminen on antanut minulle lisää valmiuksia kohdata uusia, tulevan työuran eteeni tuomia haasteita.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Aalto, Heikki. & Heilala, Juhani. & kumppanit (1999). Robotiikka. Tumma-
vuoden Kirjapaino Oy, Vantaa.
- /2/ Fanuc Robot series R-30iA Handling Tool, Operator's Manual
- /3/ Gillespie, L. K. (1999). Deburring and Edge Finishing Handbook. Society of
Manufacturing Engineers, Michigan, Yhdysvallat.
- /4/ Heikkinen, Mikko (2005). Sylinterikansien jäysteenpoisto joustavassa valmis-
tusjärjestelmässä. Diplomityö. Oulun yliopisto, konetekniikan osasto.
- /5/ Ihalainen, Erkki. & Aaltonen, Kalevi. & kumppanit (1985). Valmistustekniik-
ka. Karisto Oy, Hämeenlinna.
- /6/ Kippo, Asko K. & Tikka, Aimo (2008). Automaatiotekniikan perusteet. Edita,
Helsinki.
- /7/ Kleimola, Matti. & Pohjanpalo, Yrjö (1981). Autotekniikan käsikirja. Diesel
Moottori. Tammi, Helsinki.
- /8/ Lapinleimu, Ilkka. & Kauppinen, Veijo. & Torvinen, Seppo (1997). Kone- ja
metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. WSOY, Porvoo.
- /9/ Malm, Timo. & Viitaniemi, Juhani. & kumppanit (2008). Vuorovaikutteisen
robotiikan turvallisuus. Hakapaino Oy, Helsinki.
- /10/ Ranta, Jouko (2006). Auto- ja kuljetusalan perusoppi 6. Moottori. Kustan-
nusosakeyhtiö Otava.
- /11/ Siirilä, Tapio (2008). Koneturvallisuus. EU-määräysten mukainen koneiden
turvallisuus. 2. Uudistettu painos. Otavan Kirjapaino Oy. Keuruu.
- /12/ Wärtsilän vuosikertomus 2010.
- /13/ Wärtsilä Finland Oyj intranet.

/14/ Fanuc-robotti R2000iB (2011). [viitattu 6.6.2011] Saatavilla internetissä
<URL:<http://www.fanucrobotics.com/file-repository/DataSheets/Robots/R-2000iB-Series.pdf>>.

/15/ Molyteam koneviilaterät (2011). [viitattu 6.6.2011] Saatavilla internetissä
<URL:http://www.molyteam.net/smax_koneviilat_fin.pdf>.

/16/ Omron-konenäköanturit FQ (2011). [viitattu 20.5.2011] Saatavilla internetissä
<URL:http://industrial.omron.fi/fi/products/catalogue/sensing/vision_sensors_and_systems/easy_vision_sensors/fq/fq.html>.

/17/ Schunk-koneviila (2011). [viitattu 27.5.2011] Saatavilla internetissä
<URL: http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/FDB_gesamt_EN.pdf>.

LIITTEET

LIITE 1. Vaihtoehtoiset työkierrot

LIITE 2. Kaavio vaiheajoista

LIITE 3. Jäysteenpoisto-ohjelma

LIITE 4. Takaisinmaksulaskelma

Vaihtoehtoisia työkiertoja

Vaihtoehto 1

Kiertokangen ensimmäinen jäysteenpoistovaihe rouhinnan jälkeen suoritetaan käsin (pelkkä hammasjäystö). Kiertokanki vedetään käsin kiinni ja siirretään hienoajoon. Hienoajon jälkeen varsi ja kansi irrotetaan toisistaan.

Seuraavaksi varsi ja kansi siirretään pareina robotille jäysteenpoistoon (erillisinä kappaleina). Jäysteenpoiston jälkeen kansi ja varsi menevät kuulapuhallettavaksi yhtenä kappaleena (robotti asettaa kappaleet kuulapuhalluspalettiin siten että hammastukset ovat vastakkain). Puhalluspaletista robotti poimii varren ja kannen takaisin siirtopalettiin.

Lopuksi varsi ja kansi puhdistetaan puhalluskuulista, tehdään öljykanavan pyöritykset, hiotaan tarvittaessa kiinnityspultinreiän pohja ja asetetaan laatikkoon särintarkastukseen. Huomioitavaa on, ettei kuulia saa mennä kiinnivetotappien kier-teisiin (muovitulppaus, riittääkö pultinreikien puhallus ja öljykanavan ”hoonaus” loppujäystössä).

- 1) Kiertokanki tulee rouhittuna ensimmäiseen käsin tehtävään jäysteenpoistoon kahdessa osassa
 - a) Kansi
 - i) Hammasjäysteen poisto käsin
 - b) Varsi
 - i) Hammasjäysteen poisto käsin
- 2) Kiertokanki kiinni penkissä, jossa kansi liitetään varteen hienoajoa varten
- 3) Hienoajo kuutiolla
- 4) Kannen ja varren irrotus toisistaan ja siirto robotille menevään palettiin pareina
- 5) Kuulapuhalluksen valmistelu; öljykanavan tulppaus, siirto kuljettimelle
- 6) Jäysteenpoisto sisä- ja ulkopinnoilta robotilla. Huomioi öljykanavan tulppaukset!**
- 7) Kuulapuhallus automatisoidusti**
- 8) Robotti siirtää kappaleet puhalluspaletista rullaradalle**

- 9) Poisto kuljetuspaletista. Varren ja kannen irrottaminen toisistaan käsityönä ja siirto loppujäystöön
 - a) Varren pultinreiän pohjan hionta
 - b) Varren ja kannen öljykanavan pyöritykset (R2) pallopäällä ja pitkällä hiomatangolla
 - c) Lenkin paksuuden tarkistaminen tulkilla
 - d) Varmistetaan leikkauskohdan paikka asettamalla hammastukset symmetrisesti
- 10) Siirto laatikoihin rullaradalle kohti säröntarkastusta

OLETUKSIA:

- + Lähes automatisoitu valmistus hienoajon jälkeen
- + Tarvitsee vain yhden kuljetuspaletin lisää
- Varsiosan kiinnitys ja paikoitus laakeripintojen jäystämisvaiheessa vaatii ideointia
- Edelleen hammasjäystö käsin, ensimmäisen vaiheen jäystötilat säilytettävä, mahdollisesti eri paikassa kuin nykyään
- Puhalluspaletti tarvitsee kokonaan uuden suunnittelun koska varsi ja kansi eivät pulteilla kiinni toisissaan

Vaihtoehto 2

Kiertokangen ensimmäinen jäysteenpoistovaihe rouhinnan jälkeen suoritetaan käsin jäysteenpoistopaikalla (pelkkä hammasjäystö ”elintasoerkkerillä”). Kiertokanki vedetään manuaalisesti kiinni ja siirretään hienoajoon. Seuraavaksi kanki tulpataan ja siirretään kiinnivedettynä robotille jäysteenpoistoon ja kuulapuhallettavaksi. Lopuksi varsi ja kansi irrotetaan käsityönä toisistaan, puhdistetaan puhalluskuulusta, tehdään öljykanavan pyöritykset, hiotaan tarvittaessa kiinnityspultinreiän pohja ja asetetaan laatikkoon säröntarkastukseen.

- 1) Kiertokanki tulee rouhittuna ensimmäiseen käsin tehtävään jäysteenpoistoon kahdessa osassa
 - a) Kansi
 - i) Hammasjäysteen poisto käsin

- b) Varsi
 - i) Hammasjäysteen poisto käsin
- 2) Kiertokanki kiinni penkissä, jossa kansi liitetään varteen hienoaajoa varten
- 3) Hienoaajo kuutiolla
- 4) Kiertokankien siirto kuutiolta robotille menevään palettiin (4-6kpl)
- 5) Kuulapuhalluksen valmistelu; öljykanavan-, kierretappien tulppaus, siirto kuljettimelle
- 6) Tulppauksen kuvaus konenäöllä, jäysteenpoisto sisä- ja ulkopinnoilta robotilla**
- 7) Kuulapuhallus automatisoidusti. 2 kpl kerrallaan ja tulppauksen kuvaus konenäöllä**
- 8) Robotti siirtää kappaleet puhalluspaletista rullaradalle**
- 9) Poisto kuljetuspaletista. Varren ja kannen irrottaminen toisistaan ja siirto loppujäystöön
 - a) Varren pultinreiän pohjan hionta
 - b) Varren ja kannen öljykanavan pyöritykset (R2) pallopäällä ja pitkällä hiomatangolla
 - c) Lenkin paksuuden tarkistaminen tulkilla
 - d) Varmistetaan leikkauskohdan paikka asettamalla hammastukset symmetrisesti
- 10) Siirto laatikoihin rullaradalle kohti säröntarkastusta

OLETUKSIA:

- + Kappaleen kulku yhteen suuntaan, ei turhia siirtoja hienoajon jälkeen
- + Vain lyhyt ja nopea hammasjäystö uudella jäystepaikalla ennen hienoaajoa
- + Hienoajon jälkeinen avausvaihe jää pois
- + Lähes automatisoitu valmistus hienoajon jälkeen
- + Tarvitsee vain yhden kuljetuspaletin lisää
- + Paikoitukset jäystöissä onnistuneet pulttien kannoista eikä kiertokankea tarvitse kääntää kesken jäystön
- Edelleen hammasjäystö käsin, ensimmäisen vaiheen jäystötilat säilytettävä
- Uusi tarrain

- Puhalluspaletin suunnittelu uusiksi, ainakin modifiointi
- Loppujäystöpaikalle siirrettävä hydraulikka

Vaihtoehto 3

Kiertokangen ensimmäinen hammasjäystö suoritetaan robotilla rouhinnan jälkeen. Kiertokanki siirtyy kuutiosta rouhittuna kahdessa osassa kuljetuspalettiin ja siitä robotille ensimmäiseen jäysteenpoistoon. Robotilta hammasjäystetyt kappaleet tulevat kuljetinta pitkin käsin tehtävään kiinnivetovaiheeseen.

Kiinniveto tehdään käsin, jonka jälkeen kanki siirretään hienoajettavaksi kuutiolle ja sieltä kiinnivedettynä takaisin robotille jäystettäväksi ja kuulapuhallukseen. Kuulapuhalluksen jälkeen kanki siirtyy loppujäystöpaikalle. Varsi ja kansi irrotetaan toisistaan käsin. Kappaleille suoritetaan käsin loppujäystö (öljykanavan pyöristykset, pultinreiänpohjan hionta) ja osat siirretään laatikoihin särötarkastelua varten.

Työvaiheissa tulisi muutosta siten, että kiinnivetoa ei avattaisi ennen toista jäysteenpoistoa ja kuulapuhallusta. Jäysteenpoistoon tulisi kolmas (käsin tehtävä) loppujäystö vaihe, jossa suoritettaisiin robotille sopimattomat työt ja kiinnivedon avaus. Erityistä huomiota tulee kiinnittää, ettei puhalluskuulia pääse kiinnivetopulttien kierteisiin suoraan eikä öljykanavan kautta.

1) Kiertokanki tulee rouhittuna ensimmäiseen jäysteenpoistoon kahdessa osassa, siirto robottisolun kuljetuspalettiin tehty jo kuutiosta poistettaessa

2) Robotti suorittaa jäysteenpoiston (jos kiinteä työkalu, jäysteenpoisto voi tapahtua käsittelyrobotilla)

a) Kansi

i) Hammasjäystö työkalulla, jossa riittävän pieni terä ja ”löysä jous-to”

b) Varsi

i) Hammasjäystö työkalulla, jossa riittävän pieni terä ja ”löysä jous-to”

3) Harjaus

- 4) Robotti palauttaa kappaleet kuljettimelle. Käsityönä kansiosa kiinni varteen hienoaajoa varten
- 5) Hienoaajo kuutiolla (aina kierrolla tulee 4kpl valmiita)
- 6) Kiertokankien siirto kokonaisena toiseen vaiheeseen robotille (öljykanavan reikien tulppaus käsityönä)
- 7) Toisen vaiheen jäystö robotilla, jigissä paikoitus kiinnivetopulteista (sisältää sekä laakeripintojen-, että ulkopintojen jäysteenpoiston).**
- 8) Siirto puhalluspalettiin. Kuulapuhallus 1-6 kpl kerrallaan.**
- 9) Siirto puhalluspaletista kuljetinpalettiin**
- 10) Kangen ja kannen irrottaminen toisistaan käsityönä
- 11) Puhalluksen jälkeinen jäysteenpoisto
 - a) Pultinreiän pohjan hionta ja kiillotus käsin
 - b) Varren ja kannen öljykanavan pyöristykset (R2) pallopäällä ja pitkällä hiomatangolla
 - c) Lenkin paksuuden tarkistaminen tulkilla
 - d) Varmistetaan leikkauskohdan paikka asettamalla hammastukset symmetrisesti
- 12) Siirto laatikoihin rullaradalle kohti säröntarkastusta

OLETUKSIA:

- + Kappaleen jäyistäminen automatisoitu mahdollisimman valmiiksi
- + Hammasjäystö robotilla
- + Työvaiheet minimoitu
- + Hienoaajon jälkeinen avausvaihe jää pois
- + Lähes automatisoitu valmistus hienoaajon jälkeen
- + Paikoitukset jäystyksessä onnistuneet pulttien kannoista eikä kiertokankea tarvitse kääntää kesken jäystyksen
- + Puhalluspaletti käytössä ehkä jopa 6 kiertokangelle pienellä modifioinnilla tai testauksella
- + Robotille tulisi jatkuvana virtana tavaraa W32 ja W20
- + Nykyinen I-jäystepaikka muuhun käyttöön (mahdollisesti roskalavoille ja robotille lisätilaa?)

- Layout tulee suunnitella osittain uudelleen → kustannuksia lisää?, vaikutukset muuhun tuotantoon tulee selvittää ja arvioida
- Työskentelyjärjestys muuttuu → henkilöstön koulutus ja sopeuttaminen uuteen tilanteeseen
- Kansi ja varsi tulee siirtää kaksi kertaa robottisoluun, sekoittaako tämä materiaalivirtaa
- Varsiosalle tulee suunnitella hammasjäysteenpoisto-jigi mahdollisesti niin että paikoitus laakeripintoja vasten
- Kappaleiden siirtelyyn tarvitaan 2 siirtopalettia lisää
- Hammasjäysten siirtäminen robotille, löytyykö työkaluja ja keinoja?
- Öljykanavan pyöritykset tehtävä edelleen käsin, samoin lukkouran jäystö

Vaihtoehto 4

Ensimmäinen jäystö suoritetaan robotilla hammasjäystämisen osalta. Osien kiinni vetäminen, hienoaajo ja loppujäystö/tarkastus suoritetaan manuaalisesti.

Vaihtoehto 5

Edellisten variaatio tai kokonaan eritavoin tehtävä työkierto. Mikäli ensimmäisestä jäystämispaikasta saadaan vapautettua tilat roskalavoille, niin nykyisten roskalavojen tilalle voitaisiin mahdollisesti suunnitella lisätilaa robotille. Robotilla voisi olla toinenkin taso jolla sille syötettäisiin kiertokankia. Esimerkiksi vaihtoehdoissa 2 ja 3 kiertokangen ollessa kuulapuhalluksessa sekä käsittely-, että jäyste-robotti on työttömänä kun kaikki jäystetyt kappaleet ovat kuulapuhalluksessa. Tuolloin robotti voisi jäystää jo seuraavia kappaleita.

Vaihtoehto 6

Kiertokankiverstaalle hankitaan uusi robottisolu. Kiertokanki tulee rouhittuna uuteen robottisoluun jossa suoritetaan ensimmäinen jäysteenpoisto ja W20-kiertokangen kiinniveto. Tästä kiertokanki edelleen toiseen robottisoluun jäysteenpoistoon ja kuulapuhallukseen. Jälkityöt olisivat samat kuin vaihtoehto 2:ssa.


```

/PROG KANKI_MN
/ATTR
OWNER                = MNEDITOR;
COMMENT              = "KANKI MAIN AAPO";
PROG_SIZE            = 4615;
CREATE               = DATE 11-04-27 TIME 20:37:16;
MODIFIED             = DATE 11-06-14 TIME 17:16:40;
FILE_NAME            = CIRCLE_2;
VERSION              = 0;
LINE_COUNT           = 285;
MEMORY_SIZE          = 5031;
PROTECT              = READ_WRITE;
TCD: STACK_SIZE      = 0,
    TASK_PRIORITY     = 50,
    TIME_SLICE        = 0,
    BUSY_LAMP_OFF     = 0,
    ABORT_REQUEST     = 0,
    PAUSE_REQUEST     = 0;
DEFAULT_GROUP        = 1,*,*,*,*,*;
CONTROL_CODE         = 00000000 00000000;
/APPL
/MN
1: !KANKI LAPPEELLAAN ;
2: ! TK HALUTUSSA KULMASSA ;
3: ;
4: UFRAME_NUM=9 ;
5: UTOOL_NUM=1 ;
6: ;
8: !OPETETAAN P1 REFERENSSI KSI ;
9: J PR[79:OPETETTU] 5% CNT100 Offset, PR[80:LAHESTYMIS] ;
10: J P[1] 5% FINE ;
11: PR[79:OPETETTU]=P[1] ;
12: ;
13: !MUISTA OLETUS ;
15: !UUEDESSA W0 P0 R135 NUT000 ;
16: ;
17: LBL[2] ;
18: ;
19: !NOLLATAAN PR JA R ;
20: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
21: PR[82:Y-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
22: PR[83:X+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
23: PR[84:X-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
24: PR[91:Z+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
25: PR[92:Z-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
26: R[150:LASKURI]=0 ;
27: R[151:Z-SIIRTO]=0 ;
28: R[152:SADE]=0 ;
29: R[153:TK_KULMA]=0 ;
30: R[154:TOISTOJEN MAARA]=0 ;
31: R[155:KYSELY]=0 ;
32: ;
33: !TK LEVEA KONEVIILA ;

40: !PIENEMPI LENKKI ULKOSÄRMÄÄ ;
41: L PR[79:OPETETTU] 200mm/sec CNT100 Offset, PR[80:LAHESTYMIS] ;
42: PR[85:YMPYRAN KESKIP]=PR[79:OPETETTU]+PR[87:SIIRTO YLAPAA] ;
43: ;

```

44:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec FINE Offset,PR[80:LAHESTYMIS] ;
45: ;
48: !ANNA SATEEN ARVO ;
49: R[152:SADE]=75 ;
50: ;
51: !ANNA Z SYVYYYS ;
52: R[151:Z-SIIRTO]=50 ;
53: ;
54: !ANNA TK KULMA ;
55: R[153:TK_KULMA]=(-13) ;
56: ;
57: !ANNA TOISTOJEN MAARA ;
58: R[154:TOISTOJEN MAARA]=1 ;
67: ;
68: CALL ARC1_KAN ;
70: ;
71: !ANNA SATEEN ARVO ;
72: R[152:SADE]=45 ;
73: ;
74: !ANNA Z SYVYYYS ;
75: R[151:Z-SIIRTO]=43 ;
76: ;
77: !ANNA TK KULMA ;
78: R[153:TK_KULMA]=5 ;
79: ;
80: !ANNA TOISTOJEN MAARA ;
81: R[154:TOISTOJEN MAARA]=1 ;
82: ;
85: CALL ARC2_KAN ;
86: ;
89: !ANNA SATEEN ARVO ;
90: R[152:SADE]=50 ;
91: ;
92: !ANNA Z SYVYYYS ;
93: R[151:Z-SIIRTO]=20 ;
94: ;
95: !ANNA TK KULMA ;
96: R[153:TK_KULMA]=10 ;
97: ;
98: !ANNA TOISTOJEN MAARA ;
99: R[154:TOISTOJEN MAARA]=1 ;
100: ;
101: CALL ARC3_KAN ;
102: ;
103: !ANNA SATEEN ARVO ;
104: R[152:SADE]=50 ;
105: ;
106: !ANNA Z SYVYYYS ;
107: R[151:Z-SIIRTO]=43 ;
108: ;
109: !ANNA TK KULMA ;
110: R[153:TK_KULMA]=(-10) ;
111: ;
112: !ANNA TOISTOJEN MAARA ;
113: R[154:TOISTOJEN MAARA]=1 ;
116: ;
117: CALL ARC2_KAN ;
118: ;

```

121: !ANNA SATEEN ARVO ;
122: R[152:SADE]=50 ;
123: ;
124: !ANNA Z SYVYYYS ;
125: R[151:Z-SIIRTO]=20 ;
126: ;
127: !ANNA TK KULMA ;
128: R[153:TK_KULMA]=(-5) ;
129: ;
130: !ANNA TOISTOJEN MAARA ;
131: R[154:TOISTOJEN MAARA]=1 ;
132: ;
133: CALL ARC3_KAN ;
134: ;
135:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec FINE Offset,PR[80:LAHESTYMIS] ;
136: ;
140: PR[85:YMPYRAN KESKIP]=PR[79:OPETETTU] ;
141:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT100 Offset,PR[80:LAHESTYMIS] ;
142:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT100 Offset,PR[80:LAHESTYMIS] ;
143: ;
144: !ANNA SATEEN ARVO ;
145: R[152:SADE]=95 ;
146: ;
147: !ANNA Z SYVYYYS ;
148: R[151:Z-SIIRTO]=30 ;
149: ;
150: !ANNA TK KULMA ;
151: R[153:TK_KULMA]=10 ;
152: ;
153: !ANNA TOISTOJEN MAARA ;
154: R[154:TOISTOJEN MAARA]=1 ;
155: ;
156: CALL CIRCLE_2 ;
157: ;
159: !ANNA SATEEN ARVO ;
160: R[152:SADE]=90 ;
161: ;
162: !ANNA Z SYVYYYS ;
163: R[151:Z-SIIRTO]=30 ;
164: ;
165: !ANNA TK KULMA ;
166: R[153:TK_KULMA]=(-10) ;
167: ;
168: !ANNA TOISTOJEN MAARA ;
169: R[154:TOISTOJEN MAARA]=1 ;
170: ;
171: CALL CIRCLE_2 ;
172: ;
173:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT100 Offset,PR[80:LAHESTYMIS] ;
174: ;
175: !TYOKALUN VAIHTO ;
176: !KAPEA KONEVIILA ;
177: ;
179:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT100 Offset,PR[80:LAHESTYMIS] ;
180: ;
181: !ANNA SATEEN ARVO ;
182: R[152:SADE]=85 ;
183: ;

```

184: !ANNA Z SYVYYYS ;
 185: R[151:Z-SIIRTO]=0 ;
 186: ;
 187: !ANNA TK KULMA ;
 188: R[153:TK_KULMA]=(-10) ;
 189: ;
 190: !ANNA TOISTOJEN MAARA ;
 191: R[154:TOISTOJEN MAARA]=1 ;
 192: ;
 193: CALL CIRCLE_3 ;
 194: ;
 196: !TAHAN PAKSU URA, TÄMÄ OPETETAAN PISTETIETOINA TAI KAARILIHK-
 KEELLÄ ;
 201: ;
 221: !SILMUKAT ;
 222: ;
 224: PR[85:YMPYRAN KESKIP]=PR[79:OPETETTU]+PR[87:SIIRTO YLAPAA] ;
 225:J PR[85:YMPYRAN KESKIP] 5% CNT100 Offset,PR[80:LAHESTYMIS] ;
 226: ;
 227: !MUUTETAAN TK ORIENTAATIO ;
 228: !90 ASTETTA ;
 229: ;
 230: PR[85:YMPYRAN KESKIP]=PR[85:YMPYRAN KESKIP]+PR[88:SILMUKKA1] ;
 231: ;
 232: !ANNA SATEEN ARVO ;
 233: R[152:SADE]=20 ;
 234: ;
 235: CALL CIRCEL_4 ;
 236: ;
 237: PR[85,6:YMPYRAN KESKIP]=PR[85,6:YMPYRAN KESKIP]-90 ;
 238:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 ;
 241: ;
 242: !TOINEN PUOLI SILMUKAT ;
 243: ;
 244: PR[85:YMPYRAN KESKIP]=PR[79:OPETETTU]+PR[87:SIIRTO YLAPAA] ;
 245: ;
 250: !MUUTETAAN TK ORIENTAATIO ;
 251: !90 ASTETTA ;
 252: ;
 253: PR[85:YMPYRAN KESKIP]=PR[85:YMPYRAN KESKIP]+PR[89:SILMUKKA2] ;
 254: ;
 255: !ANNA SATEEN ARVO ;
 256: R[152:SADE]=20 ;
 258: ;
 259: CALL CIRCEL_5 ;
 260: ;
 262: PR[85,6:YMPYRAN KESKIP]=PR[85,6:YMPYRAN KESKIP]+90 ;
 263:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 ;
 264: ;
 271: !NOLLATAAN PR JA R ;
 272: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 273: PR[82:Y-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 274: PR[83:X+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 275: PR[84:X-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 276: PR[91:Z+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 277: PR[92:Z-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 278: R[150:LASKURI]=0 ;
 279: R[151:Z-SIIRTO]=0 ;

```

280: R[152:SADE]=0 ;
281: R[153:TK_KULMA]=0 ;
282: R[154:TOISTOJEN MAARA]=0 ;
283: R[155:KYSELY]=0 ;
284: J PR[79:OPETETTU] 5% CNT100 Offset, PR[80:LAHESTYMIS] ;
285: ;
286: !TAHAN ULKOPINNAN JAYSTEENPOISTO HARJALLA LOPUKSI???? ;
/POS
P[1]{
  GP1:
    UF : 9, UT : 1,          CONFIG : 'N U T, 0, 0, 1',
    X = 72.521 mm,          Y = 112.496 mm,          Z = -103.093 mm,
    W = .001 deg, P = .000 deg, R = 135.000 deg
};
/END

/PROG ARC1_KAN
/ATTR
OWNER = MNEDITOR;
COMMENT = "KAARI KANKI";
PROG_SIZE = 1024;
CREATE = DATE 11-05-29 TIME 00:43:18;
MODIFIED = DATE 11-06-14 TIME 15:25:02;
FILE_NAME = CIRCLE_3;
VERSION = 0;
LINE_COUNT = 53;
MEMORY_SIZE = 1284;
PROTECT = READ_WRITE;
TCD: STACK_SIZE = 0,
    TASK_PRIORITY = 50,
    TIME_SLICE = 0,
    BUSY_LAMP_OFF = 0,
    ABORT_REQUEST = 0,
    PAUSE_REQUEST = 0;
DEFAULT_GROUP = 1,*,*,*,*,*;
CONTROL_CODE = 00000000 00000000;
/APPL
/MN
1: !KANKI LAPPEELLAAN ;
2: !TK HALUTUSSA KULMASSA ;
3: !KAARI 3 PISTEELLA ;
7: ;
8: UFRAME_NUM=9 ;
9: UTOOL_NUM=1 ;
10: ;
14: PR[81,2:Y+]=R[152:SADE]*1 ;
15: PR[82,2:Y-]=R[152:SADE]*(-1) ;
16: PR[83,1:X+]=R[152:SADE]*1 ;
17: PR[84,1:X-]=R[152:SADE]*(-1) ;
18: ;
20: PR[81,3:Y+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
21: PR[82,3:Y-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
22: PR[83,3:X+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
23: PR[84,3:X-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
24: ;
26: PR[81,4:Y+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
27: PR[81,5:Y+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
28: PR[82,4:Y-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;

```

```

29: PR[82,5:Y-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
30: PR[83,4:X+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
31: PR[83,5:X+]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
32: PR[84,4:X-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
33: PR[84,5:X-]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
34: ;
38: !OHJELMA ALKAA ;
39:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT85 Offset,PR[84:X-] ;
40: ;
41:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[81:Y+]
   : PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[83:X+] ;
42: ;
43: !NOLLATAAN PR JA R ;
44: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
45: PR[82:Y-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
46: PR[83:X+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
47: PR[84:X-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
48: R[150:LASKURI]=0 ;
49: R[151:Z-SIIRTO]=0 ;
50: R[152:SADE]=0 ;
51: R[153:TK_KULMA]=0 ;
52: R[154:TOISTOJEN MAARA]=0 ;
53: R[155:KYESELY]=0 ;
/POS
/END

```

```

/PROG ARC2_KAN
/ATTR
OWNER           = MNEDITOR;
COMMENT          = "KAARI KANKI";
PROG_SIZE        = 1024;
CREATE           = DATE 11-05-29 TIME 00:43:46;
MODIFIED         = DATE 11-06-14 TIME 15:29:40;
FILE_NAME        = ARC1_KAN;
VERSION          = 0;
LINE_COUNT       = 53;
MEMORY_SIZE      = 1284;
PROTECT          = READ_WRITE;
TCD: STACK_SIZE  = 0,
    TASK_PRIORITY = 50,
    TIME_SLICE    = 0,
    BUSY_LAMP_OFF = 0,
    ABORT_REQUEST = 0,
    PAUSE_REQUEST = 0;
DEFAULT_GROUP    = 1,*,*,*,*,*;
CONTROL_CODE     = 00000000 00000000;
/APPL
/MN
1: !KANKI LAPPEELLAAN ;
2: !TK HALUTUSSA KULMASSA ;
3: !KAARI 3 PISTEELLA ;
4: ;
8: UFRAME_NUM=9 ;
9: UTOOL_NUM=1 ;
10: ;
14: PR[81,2:Y+]=R[152:SADE]*1 ;
15: PR[82,2:Y-]=R[152:SADE]*(-1) ;
16: PR[83,1:X+]=R[152:SADE]*1 ;

```

```

17: PR[84,1:X-]=R[152:SADE]*(-1) ;
18: ;
20: PR[81,3:Y+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
21: PR[82,3:Y-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
22: PR[83,3:X+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
23: PR[84,3:X-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
24: ;
26: PR[81,4:Y+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
27: PR[81,5:Y+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
28: PR[82,4:Y-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
29: PR[82,5:Y-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
30: PR[83,4:X+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
31: PR[83,5:X+]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
32: PR[84,4:X-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
33: PR[84,5:X-]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
34: ;
38: !OHJELMA ALKAA ;
39:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT85 Offset,PR[83:X+] ;
40: ;
41:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[81:Y+]
: PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[84:X-] ;
42: ;
43: !NOLLATAAN PR JA R ;
44: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
45: PR[82:Y-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
46: PR[83:X+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
47: PR[84:X-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
48: R[150:LASKURI]=0 ;
49: R[151:Z-SIIRTO]=0 ;
50: R[152:SADE]=0 ;
51: R[153:TK_KULMA]=0 ;
52: R[154:TOISTOJEN MAARA]=0 ;
53: R[155:KYESELY]=0 ;
/POS
/END

/PROG ARC3_KAN
/ATTR
OWNER = MNEDITOR;
COMMENT = "KAARI KANKI";
PROG_SIZE = 1024;
CREATE = DATE 11-05-29 TIME 00:58:14;
MODIFIED = DATE 11-06-14 TIME 15:30:28;
FILE_NAME = ARC1_KAN;
VERSION = 0;
LINE_COUNT = 53;
MEMORY_SIZE= 1284;
PROTECT = READ_WRITE;
TCD: STACK_SIZE = 0,
TASK_PRIORITY = 50,
TIME_SLICE = 0,
BUSY_LAMP_OFF = 0,
ABORT_REQUEST = 0,
PAUSE_REQUEST = 0;
DEFAULT_GROUP = 1,*,*,*,*,*;
CONTROL_CODE = 00000000 00000000;
/APPL
/MN

```



```

1: !KANKI LAPPEELLAAN ;
2: !TK HALUTUSSA KULMASSA ;
3: !KAARI 3 PISTEELLA ;
7: ;
8: UFRAME_NUM=9 ;
9: UTOOL_NUM=1 ;
10: ;
14: PR[81,2:Y+]=R[152:SADE]*1 ;
15: PR[82,2:Y-]=R[152:SADE]*(-1) ;
16: PR[83,1:X+]=R[152:SADE]*1 ;
17: PR[84,1:X-]=R[152:SADE]*(-1) ;
18: ;
19: ;
20: PR[81,3:Y+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
21: PR[82,3:Y-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
22: PR[83,3:X+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
23: PR[84,3:X-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
24: ;
25: ;
26: PR[81,4:Y+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
27: PR[81,5:Y+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
28: PR[82,4:Y-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
29: PR[82,5:Y-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
30: PR[83,4:X+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
31: PR[83,5:X+]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
32: PR[84,4:X-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
33: PR[84,5:X-]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
34: ;
38: !OHJELMA ALKAA ;
39:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT85 Offset,PR[84:X-] ;
41:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[82:Y-]
   : PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[83:X+] ;
42: ;
43: !NOLLATAAN PR JA R ;
44: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
45: PR[82:Y-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
46: PR[83:X+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
47: PR[84:X-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
48: R[150:LASKURI]=0 ;
49: R[151:Z-SIIRTO]=0 ;
50: R[152:SADE]=0 ;
51: R[153:TK_KULMA]=0 ;
52: R[154:TOISTOJEN MAARA]=0 ;
53: R[155:KYESELY]=0 ;
/POS
/END

/PROG CIRCLE_2
/ATTR
OWNER          = MNEDITOR;
COMMENT        = "KANKI SISAPUOLI";
PROG_SIZE      = 1682;
CREATE         = DATE 11-04-27 TIME 19:58:14;
MODIFIED       = DATE 11-06-02 TIME 20:43:04;
FILE_NAME      = CIRCLE_4;
VERSION        = 0;
LINE_COUNT     = 78;
MEMORY_SIZE    = 2102;

```

```

PROTECT                = READ_WRITE;
TCD: STACK_SIZE        = 0,
    TASK_PRIORITY      = 50,
    TIME_SLICE         = 0,
    BUSY_LAMP_OFF      = 0,
    ABORT_REQUEST      = 0,
    PAUSE_REQUEST      = 0;
DEFAULT_GROUP          = 1,*,*,*,*,*;
CONTROL_CODE           = 00000000 00000000;
/APPL
/MN
1: !KANKI LAPPEELLAAN ;
2: ! TK HALUTUSSA KULMASSA ;
3: ;
4: !SADE SAA ARVOT ;
5: PR[81,2:Y+]=R[152:SADE]*1 ;
6: PR[82,2:Y-]=R[152:SADE]*(-1) ;
7: PR[83,1:X+]=R[152:SADE]*1 ;
8: PR[84,1:X-]=R[152:SADE]*(-1) ;
9: ;
10: !Z SYVYYYS SAA ARVOT ;
11: PR[81,3:Y+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
12: PR[82,3:Y-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
13: PR[83,3:X+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
14: PR[84,3:X-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
15: ;
16: !TK KULMA SAA ARVOT ;
17: PR[81,4:Y+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
18: PR[81,5:Y+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
19: PR[82,4:Y-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
20: PR[82,5:Y-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
21: PR[83,4:X+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
22: PR[83,5:X+]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
23: PR[84,4:X-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
24: PR[84,5:X-]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
29: ;
30: !OHJELMA ALKAA ;
32: ;
33: !LAHESTYMIS ARVOT ;
34: PR[81,2:Y+]=PR[81,2:Y+]-40 ;
35: PR[82,2:Y-]=PR[82,2:Y-]+1.5 ;
36: PR[83,1:X+]=PR[83,1:X+]-.5 ;
37: PR[84,1:X-]=PR[84,1:X-]+10 ;
38: ;
41:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT100 Offset,PR[81:Y+] ;
42:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT85 Offset,PR[84:X-] ;
43:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[82:Y-]
    : PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[83:X+] ;
45: ;
46: LBL[1] ;
47: !JAYSTEEN POISTO ;
48: PR[81,2:Y+]=R[152:SADE]*1 ;
49: PR[82,2:Y-]=R[152:SADE]*(-1) ;
50: PR[83,1:X+]=R[152:SADE]*1 ;
51: PR[84,1:X-]=R[152:SADE]*(-1) ;
52:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[81:Y+]
    : PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[84:X-] ;
53:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[82:Y-]

```

```

: PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[83:X+] ;
54: R[150:LASKURI]=R[150:LASKURI]+1 ;
55: IF R[150:LASKURI]<R[154:TOISTOJEN MAARA],JMP LBL[1] ;
56: ;
57: !POISTUMIS ARVOT ;
58: PR[82,2:Y-]=PR[82,2:Y-]+6 ;
59: PR[83,1:X+]=PR[83,1:X+]-12 ;
60: PR[84,1:X-]=PR[84,1:X-]+3 ;
61: ;
62: !POISTUMINEN ;
63:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[81:Y+]
: PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[84:X-] ;
64:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[82:Y-]
: PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[83:X+] ;
65: PR[81,2:Y+]=PR[81,2:Y+]-20 ;
66:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT100 Offset,PR[81:Y+] ;
67: ;
68: !NOLLATAAN PR JA R ;
69: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
70: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
71: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
72: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
73: R[150:LASKURI]=0 ;
74: R[151:Z-SIIRTO]=0 ;
75: R[152:SADE]=0 ;
76: R[153:TK_KULMA]=0 ;
77: R[154:TOISTOJEN MAARA]=0 ;
78: R[155:KYSELY]=0 ;
/POS
/END

/PROG CIRCLE_3
/ATTR
OWNER = MNEDITOR;
COMMENT = "KANKI ";
PROG_SIZE = 1084;
CREATE = DATE 11-04-27 TIME 19:59:40;
MODIFIED = DATE 11-06-14 TIME 15:17:06;
FILE_NAME = CIRCLE_4;
VERSION = 0;
LINE_COUNT = 57;
MEMORY_SIZE= 1328;
PROTECT = READ_WRITE;
TCD: STACK_SIZE = 0,
TASK_PRIORITY = 50,
TIME_SLICE = 0,
BUSY_LAMP_OFF = 0,
ABORT_REQUEST = 0,
PAUSE_REQUEST = 0;
DEFAULT_GROUP = 1,*,*,*,*,*;
CONTROL_CODE = 00000000 00000000;
/APPL
/MN
1: !KANKI LAPPEELLAAN ;
2: ! HALUTTU KULMA ;
3: UFRAME_NUM=9 ;
4: UTOOL_NUM=1 ;
5: ;

```

```

6: !EI LAHESTYMISTA ;
7: ;
10: PR[81,2:Y+]=R[152:SADE]*1 ;
11: PR[82,2:Y-]=R[152:SADE]*(-1) ;
12: PR[83,1:X+]=R[152:SADE]*1 ;
13: PR[84,1:X-]=R[152:SADE]*(-1) ;
15: ;
16: PR[81,3:Y+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
17: PR[82,3:Y-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
18: PR[83,3:X+]=R[151:Z-SIIRTO] ;
19: PR[84,3:X-]=R[151:Z-SIIRTO] ;
20: ;
22: PR[81,4:Y+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
23: PR[81,5:Y+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
24: PR[82,4:Y-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
25: PR[82,5:Y-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
26: PR[83,4:X+]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
27: PR[83,5:X+]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
28: PR[84,4:X-]=R[153:TK_KULMA]*(-1) ;
29: PR[84,5:X-]=R[153:TK_KULMA]*1 ;
33: ;
34: !OHJELMA ALKAA ;
35:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 ;
36:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT85 Offset,PR[84:X-] ;
37: ;
38:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[82:Y-]
: PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[83:X+] ;
39:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[81:Y+]
: PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[84:X-] ;
40:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 ;
46: ;
47: !NOLLATAAN PR JA R ;
48: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
49: PR[82:Y-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
50: PR[83:X+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
51: PR[84:X-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
52: R[150:LASKURI]=0 ;
53: R[151:Z-SIIRTO]=0 ;
54: R[152:SADE]=0 ;
55: R[153:TK_KULMA]=0 ;
56: R[154:TOISTOJEN MAARA]=0 ;
57: ;
/POS
/END

/PROG CIRCEL_4
/ATTR
OWNER = MNEDITOR;
COMMENT = "KANKI SILMUKKA 1";
PROG_SIZE = 746;
CREATE = DATE 11-05-29 TIME 18:12:36;
MODIFIED = DATE 11-06-14 TIME 16:49:06;
FILE_NAME = CIRCLE_3;
VERSION = 0;
LINE_COUNT = 34;
MEMORY_SIZE= 1082;
PROTECT = READ_WRITE;
TCD: STACK_SIZE = 0,

```

```

TASK_PRIORITY    = 50,
TIME_SLICE       = 0,
BUSY_LAMP_OFF    = 0,
ABORT_REQUEST    = 0,
PAUSE_REQUEST    = 0;
DEFAULT_GROUP    = 1,**,*,*,*;
CONTROL_CODE     = 00000000 00000000;
/APPL
/MN
1: !KANKI LAPPEELLAAN ;
2: ! HALUTTU KULMA ;
3: UFRAME_NUM=9 ;
4: UTOOL_NUM=1 ;
5: ;
6: !EI LAHESTYMISTA ;
7: !SILMUKAT YMPYRALIIKKEELLA ;
8: ;
10: PR[81,2:Y+]=R[152:SADE]*1 ;
11: PR[82,2:Y-]=R[152:SADE]*(-1) ;
12: PR[91,3:Z+]=R[152:SADE]*1 ;
13: PR[92,3:Z-]=R[152:SADE]*(-1) ;
14: ;
16: !OHJELMA ALKAA ;
17:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT85 Offset,PR[91:Z+] ;
18: ;
19:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[82:Y-]
   : PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[92:Z-] ;
20:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[81:Y+]
   : PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[91:Z+] ;
21: ;
22: !NOLLATAAN PR JA R ;
23: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
24: PR[82:Y-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
25: PR[83:X+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
26: PR[84:X-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
27: PR[91:Z+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
28: PR[92:Z-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
29: R[150:LASKURI]=0 ;
30: R[151:Z-SIIRTO]=0 ;
31: R[152:SADE]=0 ;
32: R[153:TK_KULMA]=0 ;
33: R[154:TOISTOJEN MAARA]=0 ;
34: ;
/POS
/END

/PROG CIRCEL_5
/ATTR
OWNER              = MNEDITOR;
COMMENT            = "KANKI SILMUKKA 2";
PROG_SIZE          = 746;
CREATE             = DATE 11-05-30 TIME 00:38:32;
MODIFIED           = DATE 11-06-14 TIME 16:50:28;
FILE_NAME          = CIRCEL_4;
VERSION            = 0;
LINE_COUNT         = 34;
MEMORY_SIZE        = 1082;
PROTECT            = READ_WRITE;

```

```

TCD: STACK_SIZE      = 0,
    TASK_PRIORITY     = 50,
    TIME_SLICE        = 0,
    BUSY_LAMP_OFF     = 0,
    ABORT_REQUEST     = 0,
    PAUSE_REQUEST     = 0;
DEFAULT_GROUP        = 1,*,*,*,*,*,*;
CONTROL_CODE         = 00000000 00000000;
/APPL
/MN
  1: !KANKI LAPPEELLAAN ;
  2: ! HALUTTU KULMA ;
  3: UFRAME_NUM=9 ;
  4: UTOOL_NUM=1 ;
  5: ;
  6: !EI LAHESTYMISTA ;
  7: !SILMUKAT YMPYRALIIKKEELLA ;
  9: ;
 10: PR[81,2:Y+]=R[152:SADE]*1 ;
 11: PR[82,2:Y-]=R[152:SADE]*(-1) ;
 12: PR[91,3:Z+]=R[152:SADE]*1 ;
 13: PR[92,3:Z-]=R[152:SADE]*(-1) ;
 14: ;
 16: !OHJELMA ALKAA ;
 17:L PR[85:YMPYRAN KESKIP] 200mm/sec CNT85 Offset,PR[91:Z+] ;
 19:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[81:Y+]
    : PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[92:Z-] ;
 20:C PR[85:YMPYRAN KESKIP] Offset,PR[82:Y-]
    : PR[85:YMPYRAN KESKIP] 100mm/sec CNT100 Offset,PR[91:Z+] ;
 21: ;
 22: !NOLLATAAN PR JA R ;
 23: PR[81:Y+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 24: PR[82:Y-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 25: PR[83:X+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 26: PR[84:X-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 27: PR[91:Z+]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 28: PR[92:Z-]=PR[86:PR NOLLAUS] ;
 29: R[150:LASKURI]=0 ;
 30: R[151:Z-SIIRTO]=0 ;
 31: R[152:SADE]=0 ;
 32: R[153:TK_KULMA]=0 ;
 33: R[154:TOISTOJEN MAARA]=0 ;
 34: ;
/POS
/END

```

